

UNION GÉODÉSIQUE ET GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS

ASSOCIATION INTERNATIONALE  
D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE

INTERNATIONAL ASSOCIATION  
OF SCIENTIFIC HYDROLOGY

# ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE TORONTO

3-14 SEPT. 1957

# GENERAL ASSEMBLY OF TORONTO

## TOME I

EROSION CONTINENTALE

INSTRUMENTS

PRECIPITATIONS

## VOLUME I

LAND EROSION

INSTRUMENTS

PRECIPITATIONS

PUBLIÉ AVEC L'AIDE FINANCIÈRE DE L'UNESCO

PRIX : 300 Frs belges

PUBLICATION N° 43 DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE

SECRÉTAIRE : L. J. TISON  
RUE DES RONCES, 61, GENTBRUGGE (BELGIQUE)  
GENTBRUGGE 1958











GB  
651  
I 63  
no. 43-44

UNION GÉODÉSIQUE ET GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS

ASSOCIATION INTERNATIONALE  
D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE

INTERNATIONAL ASSOCIATION  
OF SCIENTIFIC HYDROLOGY

# ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE TORONTO

3-14 SEPT. 1957

# GENERAL ASSEMBLY OF TORONTO

TOME I

EROSION CONTINENTALE

INSTRUMENTS

PRECIPITATIONS

VOLUME I

LAND EROSION

INSTRUMENTS

PRECIPITATIONS

PUBLIÉ AVEC L'AIDE FINANCIÈRE DE L'UNESCO

PRIX : 300 Frs belges

*International Association of Scientific  
Hydrology //*

PUBLICATION N° 43 DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE

SECRÉTAIRE : L. J. TISON

RUE DES RONCES, 61, GENTBRUGGE (BELGIQUE)

GENTBRUGGE 1958





# PROGRAMME DE L'ASSEMBLÉE DE TORONTO A. I. H. S.

## *Lundi 2 septembre*

20 h. Réunion du Comité des Finances.

## *Mardi 3 septembre*

10 h. Ouverture solennelle de l'Union.

14 h. Conseil de l'Association. D'autres séances du Conseil seront fixées au cours de cette réunion.

17 h. Réception au Royal Ontario - Museum.

## *Mercredi 4 septembre*

9 h. Symposium sur le Bilan de l'Eau en collaboration avec les Associations d'Océanographie et de Météorologie.

14 h. Symposium sur l'influence de la végétation sur le bilan hydrologiques.

## *Jeudi 5 septembre*

9 h. Assemblée plénière de l'Association.

Adresse présidentielle. Rapport du Secrétaire. Exposé de diverses questions et discussions.

13 h. Départ pour l'excursion aux Niagara Falls.

## *Vendredi 6 septembre*

9 h. Commission des Neiges et Glaces: 1<sup>re</sup> Session.

9 h. Commission des Eaux Souterraines: 1<sup>re</sup> Session.

14 h. Neiges et Glaces: 2<sup>e</sup> Session.

14 h. Eaux souterraines: 2<sup>e</sup> Session.

20 h. Conférence de M. E. I. Tolstikov sur le programme de l'AGI en Arctique Arctique et en Antarctique.

## *Samedi 7 septembre*

9 h. Neiges et Glaces 3<sup>e</sup> Session.

9 h. Eaux Souterraines 3<sup>e</sup> Session.

## *Dimanche 8 septembre — Excursions*



*Lundi 9 septembre*

- 9 h. Comité de Précipitations.
- 9 h. Neiges et Glaces. 4<sup>e</sup> Session.
- 9 h. Eaux Souterraines. 4<sup>e</sup> Session.
- 14 h. Erosion Continentale: 1<sup>re</sup> Session.
- 14 h. Comité des Mesures et Instruments.

*Mardi 10 septembre*

- 9 h. Neiges et Glaces. 5<sup>e</sup> Session.
- 9 h. Erosion Continentale: 2<sup>e</sup> Session.
- 14 h. Erosion Continentale: 3<sup>e</sup> Session.
- 14 h. Neiges et Glaces: 6<sup>e</sup> Session.
- 14 h. Eaux de surface: 1<sup>re</sup> Session.

*Mercredi 11 septembre*

- 9 h. Eaux de surface: 2<sup>e</sup> Session (évaporation).
- 9 h. Eaux souterraines: 5<sup>e</sup> Session.
- 14 h. Eaux de surface: 3<sup>e</sup> Session.
- 14 h. Eaux souterraines: 6<sup>e</sup> Séance.
- 14 h. Neiges et Glaces :7<sup>e</sup> Session.
- 20 h. 30. Concert.

*Jeudi 12 septembre*

- 9 h. Symposium sur la Rosée et les condensations occultes.
- 14 h. Séance commune au comité des précipitations et au symposium sur la rosée.
- 17 h. Assemblée Générale.
- 20 h. Conférence de L. V. Berkner: programme de l'AGI en matière de fusées et de satellites.

*Vendredi 13 septembre*

- 9 h. Eaux de surface: 4<sup>e</sup> Session.
- 11 h. Comité de standardisation des caractéristiques hydrologiques.
- 14 h. Eaux de surface: 5<sup>e</sup> Session.
- 14 h. Erosion Continentale: 4<sup>e</sup> Session.
- 21 h. Soirée de clôture.

*Samedi 10 h. Clôture Solennelle (Union).*

## PROGRAMME DETAILLE

*Mercredi 4 septembre*

9 h. et 14 h.

*Symposium sur le Bilan Hydrologique*

(avec les Associations de Météorologie et d'Océanographie)

*Communications présentées par l'Association d'Hydrologie*

(Rôle de la végétation dans le bilan)

- 1) K. Szesztay — Evapotranspiration as key-problem of the Water Balance.
- 2) J. Ostromecki — The influence of increasing agricultural production on utilization of water by cultivated crops.

3) Prof. Dr. W. Baden et R. Eggelsmann — L'influence de la végétation des marais-verts productifs sur le régime des eaux.

4) F. Law — Measurement of rainfall, Interception and Evaporation losses in a plantation of Sitka Spruce Trees.

5) M. Hallaire — Le rôle de la végétation dans l'épuisement des réserves en eau du sol.

6) T. W. Robinson — The importance of Desert Vegetation in the hydrologic Cycle.

7) H. F. Blaney — Monthly consumptive use of water by irrigated crops and natural vegetation.

8) St. Bac. — Consommation d'eau de quelques plantes.

#### Vendredi 6 septembre

9 h. — *Commission des Neiges et des Glaces* — 1<sup>re</sup> Session

Adresse présidentielle.

Rapport du Secrétaire sur les activités glaciologiques de l'A. G. I.

Rapport sur l'Expédition Internationale Glaciologique au Groenland (E.G.I.G.).

Falconer et autres — Glaciological Map of Canada.

#### Vendredi 6 septembre

9 h. — *Commission des Eaux Souterraines*. — 1<sup>re</sup> Séance.

Présidence de M. Sayre.

*Méthodes utilisées dans la présentation des cartes hydrologiques*

1) Dr. J. I. S. Zonneveld and J. H. Beltman — Some remarks on hydrogeological mapping in the Netherlands.

2) L. Monition — La carte hydrogéologique de la région de Casablanca.

3) R. E. Bergstrom and L. F. Selkregg — Groundwater Maps for General Distribution in Illinois.

4) J. Margat — Etablissement des cartes hydrogéologiques.

5) R. Grahmann — A Groundwater Map of the Federal Republic Germany.

Scale 1/1.000.000

6) M<sup>me</sup> L. Szebelledy — Cartes de la Hongrie indiquant la qualité des Eaux Souterraines.

7) H. Karrenberg and W. Richter — Hydrogeological Maps developed in the last years in Geological Surveys of the Federal Republic of Germany.

8) M. B. Churinov — Hydrological Maps as a basis in estimating aquiferosity of underground waters resources.

#### Vendredi 6 septembre

14 h. — *Commission des Neiges et des Glaces* : 2<sup>e</sup> Séance

Rapports relatifs à la neige...

1) D. Tonini — Nouvelles recherches sur la corrélation entre les neiges et les débits des cours d'eau.

2) L. W. Gold — Some observations on the influence of the Snow Cover on Heat Flow the Ground in the Ottawa Area.

3) A. Higashi — Snow Survey in Hokkaido.

4) C. Kojima — The Synthetic Report of the Recent Studies on the Mechanism of Snow Melting in Japan.

5) G. Manley — Studies of the Frequency of Snowfall in Great Britain (1868-1956).

6) J. A. Bender — Air Permeability of Snow.

7) M. A. Bilello — A Survey of Arctic Snow Cover Properties as Related to Climatic Conditions.

8) J. A. S. Milne — Snow surveying by Ontario-Hydro.



- 9) I. G. Potter — Mean Duration and Accumulation of Snow Cover in Canada.
- 10) J. Martinec — Measurement of the Snow-Water Content with the use of Radiocobalt.
- 11) M. Shoda — Study of Snow-Accretion on Wires.
- 12) Prof. Church.
- 13) M. Levi — Comment on mesure la neige en Italie.

#### Vendredi 6 septembre

14 h. — *Commission des Eaux Souterraines. — 2<sup>e</sup> Séance.*

*Continuation des exposés relatifs aux cartes*

- 1) F. Nöring — Methods of Drawing Hydrogeological Maps, developed in the last years in Western Germany.
  - 2) A. Volker — Exemple d'une carte hydrogéologique pour un but spécifique.
  - 3) A. I. Silin-Bekchurin — Types of hydrochemical maps in hydrogeology.
  - 4) F. Mortier — Présentation de la carte hydrogéologique de la Plaine des Triffas (Maroc Oriental).
  - 5) G. V. Bogomolov and N. A. Plotnikov — Classification of underground waters resources and their plotting on maps.
  - 6) A.M. Orchinnikov — Hydrogeological maps of mountain folded regions and their significance in estimating resources of underground waters.
- Conclusions.

#### Samedi 7 septembre

9 h. — *Commission des Neiges et des Glaces : 3<sup>e</sup> Séance*

Rapports relatifs à la neige (suite). Glace des lacs.

- 1) Z. Yosida — Physical studies in Japan on the Mechanical Properties of Deposited Snow.
- 2) G. P. Williams — The variability of the physical characteristics of Snow Covers across Canada.
- 3) G. K. Sulakvelidze — Physical Properties of the Snow Cover.
- 4) M. Keri et P. Salamin — Le changement de la densité de la Neige en Hongrie.
- 5) V. V. Rakhmanov — Influence of forests on accumulation and shawing of snow in dependence on meteorological conditions.
- 6) P. L. Mercanton — Les cinquante ans d'observations à l'Eismeer par le Nivomètre.
- 7) M. R. de Quervain — Pressure and Temperature gradient.
- 8) K. Ishiwara — Snow Survey in Japan.
- 9) A. Renaud — La teneur en eau lourde dans quelques bassins glaciaires des Alpes Suisses.
- 10) V. Piotrovich — Computation of freezing Periods for Water Reservoirs and Cleaning them from Ice.
- 11) F. Nusser — Relations between the general Weather Situation and the occurrence of sea Ice.
- 12) S. Hénin — Etude sur le gel du sol.
- 13) M. Sundberg-Falkenmark. Studies on Lake-Ice Movements.
- 14) Pearce — Ground Temperature Studies.
- 15) Dostovalov — Underground Fibrous Ice.

#### Samedi 7 septembre

*Commission des Eaux Souterraines : 3<sup>e</sup> Séance.*

9 h. — *Exposé de méthodes pour l'estimation des ressources en eaux souterraines.*

- 1) G. Santing — A Scale Model, based on the viscous flow analogy, for studying groundwater Flow in an aquifer having Storage.



2) F. Mortier — Elements pour l'établissement du bilan de la nappe phréatique des Triffas.

3) John F. Mann jr. — Estimating quantity and quality of ground water in dry regions using airphotos.

4) Dr. Ing. Gunther Nahrgang. — Détermination de la quantité d'eau utilisable de la nappe souterraine démontrée par l'exemple d'une grosse évacuation dans une région étendue.

5) J. G. Ferris and A. Nelson Sayre — The quantitative approach to ground-water investigations.

6) B. I. Kudelin — Principles of the regional estimate of natural resources of underground waters and problems of water balance.

#### Lundi 9 septembre

##### 9 h. — *Première séance sur les précipitations*

Présidence de M. Serra.

1) Exposé général de M. Serra.

2) W. T. Wilson and L. L. Wiess — Precipitation Gage Shields.

3) F. Lugiez et A. Dumaine — Deux dispositifs améliorant la mesure des précipitations et facilitant la transmission à distance.

4) E. Pasteur — Pluviomètres aerodynamiques orientables.

5) D. M. Herschfield et W. T. Wilson — Generalizing of rainfall-intensity-frequency data.

6) P. Kasser — Sur la mesure des précipitations en montagne.

7) Ch. P. Peguy et Melle C. Chapin — Intensité et covariométrie des précipitations journalières dans l'Ouest de la France.

8) P. Cappus — Répartition des précipitations sur un bassin versant de faible superficie.

9) A. Baumgartner — Vertical distribution of rain- and fogprecipitation at the Grosser Falkenstein.

10) L. Serra — Amélioration de la mesure des précipitations.

Remarque — Il sera vraisemblablement impossible de présenter et discuter tous les rapports ci-dessus au cours de cette séance. Les contributions qui n'auront pu être présentées en cette séance le seront au cours de la séance du jeudi 12 septembre à 14 h. en même temps que certains exposés sur les précipitations occultes.

#### Lundi 9 septembre

##### 9 h. — *Commission des Neiges et des Glaces : 4<sup>e</sup> Séance.*

Papers on glaciers. General.

1) W. Stichling et S. R. Blackwell — Drainage area as a hydrologic factor on the glaciated canadian Prairies.

2) Lliboutry, Gonzalez et Simken — Les glaciers du désert chilien.

3) O. Schimpp — The Economy of the Hintereisferner in the years 1953-1954.

4) Prof. M. Vanni — L'activité du comité glaciologique et les variations des glaciers italiens en 1956.

5) Prof. A. Disio — The Kutiah Glacier in the Haramosh Group (Karakorum) and his progress during 1953.

6) Ch. Péguy — Mesures d'ablation au Hofsjokull Islande (1954).

7) W. Hofmann — The advance of the Nisqually Glacier on Mt Rainier (U. S. A.) between 1952 and 1956.

8) M. Bouverot — Les variations des glaciers du Mont-Blanc.

9) M. Tonini — Nouvelles Recherches sur le Glacier de la Marmolada.

10) Prof. A. Desio — The Glaciological Researches on the Italian Expedition to the Karakorum (Himalaya) 1953-1955.

11) E. P. Collier — Glacier Variation and Trends in Run-Off in the Canadian Cordillera.

12) Prof. P. Mercanton — Rapport Général sur les Variations des Glaciers Européens.

13) Glaciation of the Torngat Mountains.

#### Lundi 9 septembre

9 h. *Commission des Eaux Souterraines : 4<sup>e</sup> Séance.*

*Continuation de l'exposé de méthodes pour l'estimation des ressources en eau souterraines.*

1) L. Huisman — Determination of the Geohydrological constants for the Dune-water catchment of Amsterdam.

2) N. S. Boulton and G. S. Dhillon — A Field Method for measuring the permeability of unsaturated Sands and Sandstones.

3) P. C. Lindenbergh — Movement of underground Water below and above the Phreatic Level.

4) H. Kessler — Estimate of the Subterrenean Water Resources of Carstic Regions.

5) L. Schiff — The use of Filters to increase infiltration in aquifers for ground water recharge.

6) Toru Onodera — Determination of permeability by pumping from a spherical well.

7) P. P. Kurzmin — Hydrophysical Investigations of Ground Waters.

#### Lundi 9 septembre

14 h. — *Commission d'Erosion Continentale — 1<sup>re</sup> Séance*

Présidence de M. J. Tixeront.

1) Introduction par M. J. Tixeront.

2) Dr. H. Schreiber — The influence of soil structure and surface condition on runoff and erosion.

3) F. Fournier — Méthodes employées pour l'étude de l'érosion du sol dans les territoires français d'Outre-mer.

4) D. D. Smith — Factors affecting surface erosion from Rainfall and their evaluation.

5) Dr. L. Hempel — Soil Erosion and Water Run-off on open ground and underneath Wood.

6) F. Fournier — Les facteurs de l'érosion des Sols dans le Domaine inter-tropical. — Enseignements pour la conservation des sols.

7) Prof. Dr. Ing. H. Kuron and Dr. H. J. Steinmetz — On the Whirling Effect of Rain Drops as one cause of Soil Erosion.

8) Ing. Dr. J. Dvorak and Dr. ing. Milos Holg — Some questions of Water Erosion in Czecho-Slovakia

9) K. Debski — Essai d'estimation de l'érosion du sol en Pologne.

#### Lundi 9 septembre

15 h. — *Comité des Mesures et Instruments (Présidence: M. Schiff.)*

1) Introduction.

2) J. Bonnin — Quelques applications de la conductivité à l'hydrologie.

3) S. Kolupaila — Use of Current Meters in turbulent and divergent Channels.

4) C. G. Cline — Conformal Transformation applied to suppressed Weirs.

5) Exposé de M. Schiff — Discussions et Conclusions.

## Mardi 10 septembre

9 h. — *Commission des Neiges et des Glaces : 5<sup>e</sup> Séance.*

Business Meeting of the Commission.

1) de Quervain — Snow Classification.

2) de Quervain — Avalanche Classification.

3) P. F. Shvetsov — Geocriology and its main problems in the USSR.

## Mardi 10 septembre

14 h. — *Commission des Neiges et des Glaces: 6<sup>e</sup> Séance.*

Glaciers. Technical.

1) W. H. Ward, J. F. Nye and J. Glen — Glaciological Studies on Austerdalsbreen, Norway 1955-1957.

2) L. Reynaud — Les méthodes de sondages glaciaires

3) M. Diamond and R. W. Gerdel — Radiation Measurements on the Greenland Ice Cap.

4) E. W. Marshall — Structural and Stratigraphic Studies of Ice-Island T-3 and the Ellesmere Ice Shelf.

5) W. H. Mathews — Vertical distribution of Velocity in Salmon Glacier B. C.

6) J. A. Jacobs and R. R. Doell — Geophysical studies on the Salmon Glacier

7) W. Pillewizer — New Knowledge about the Block-Movement of Glaciers.

8) M. M. Miller — Phenomena associated with the Deformation of a Glacier Bore-hole.

9) P. A. Shumsky — The main problems of modern Glaciology in the light of investigations by Soviet Scientists.

10) G. Lindig — Feinbewegung am einen Ostalpinen Gletschern.

## Mardi 10 septembre

9 h. — *Commission de l'Erosion Continentale. — 2<sup>e</sup> Séance*

1) Prof. Dr. Ing. H. Kuron — Critical Rainfall Intensities and Soil Erosion in Germany.

2) L. C. Gottschalk — Predicting Erosion and Sediment Yields.

3) F. Fournier — Valeurs d'érosion du sol en champs expérimentaux dans les territoires français d'outre-mer.

4) Dr. H. J. Steinmetz — Aerial photograph and relief changes caused by water erosion.

5) H. Kuron and L. Jung — The influence of water erosion on the surface layer of some soils.

6) T. Onodera — Role of fault on susceptibility of Mounsain Side to erosion.

7) H. Mensching — Soil Erosion and Formation of Haugh-Loam in Germany.

8) T. Taniguchi — Effect of Rain-falls and Ground-Water upon the movement of the Land Slide.

## Mardi 10 septembre

14 h. — *Commission de l'Erosion Continentale. — 3<sup>e</sup> Séance*

1) Dr. L. Arnborg — The use of Diving in Fluvial-Morphological Investigations.

2) Dr. H. Mossbrügger — Les éléments de charriage et les matières en suspension des fleuves de montagne, en relation avec l'importance du cours d'eau.

3) G. Tison — Considérations sur la variation de la sédimentation dans un fleuve à marée.

4) A. Sundborg — A Method of estimating the Sedimentation of suspended material.

5) Prof. P. Frosini — L'érosion du sol de certains bassins des cours d'eau.

6) T. Taniguchi — Observation of sediment load in River with the Tiltmeter.



7) J. Tixeront et E. Berkaloff — Evaluation de l'Erosion en Tunisie par la méthode hydrologique.

8) A. F. Geiger — Sediment Yields from Watersheds in U. S. A.

9) J. Bogardi — Summary of the Measurements made in Hungary of Sediment Transportation, with reference to their quantitative Bearings on Erosion.

#### Mardi 10 septembre

14 h. — *1<sup>re</sup> Séance de la Commission des Eaux de Surface (Prévision).*

Méthodes de prévision des eaux avec étude particulière des débits extrêmes (étiages et crues).

1) Prof. Dr. J. Lambor — Evaluation du coefficient d'écoulement appliquée aux prévisions hydrologiques.

2) P. O. Wolf — The influence on Flood Peak Discharges of some meteorological, topographical and hydraulic factors.

3) S. Kaczmarek — A Method of determining the frequency of droughts.

4) A. Kalin — Application de tests statistiques à la prévision d'apports globaux à l'aide de régressions.

5) M. S. Sachs — Method and Procedures used in forecasting dependable seasonal streamflows.

6) G. K. Kalinin — The computation and forecast of the Run-off by a Water Inflow into Rivers (in French).

7) W. N. Stammers and H. D. Ayers — The effect of Slope and Microtopography on Depression Storage and Surface Detention.

8) H. A. Morrice — The Use of Electronic Computing Machines to plan the Nile Valley as a Whole.

9) M. Pardé — Etiages surabondants de certaines rivières.

10) J. E. Nash — The Form of the instantaneous Unit hydrograph.

#### Mercredi 11 septembre

9 h. — *Commission des Eaux de surface. 2<sup>e</sup> Séance. Evaporation*

1) W. A. Neliker and Sverre Orvig — Evaporation and transpiration from an open Lichen Woodland surface.

2) P. P. Demianczuk — Evaporation de la surface libre de l'eau dans les conditions naturelles en Pologne.

3) G. W. Robertson and R. M. Holmes — A new concept of the Measurement of Evaporation for climatic purposes.

4) A. Bouchardeau — Etudes d'évaporation dans les régions Sahelo-Soudaniennes.

5) M. A. Kohler — Meteorological Aspects of evaporation Phenomena.

6) E. Pasteur — Evaporation de la pluie sur le feuillage des plantes.

7) G. Earl Harbeck — The Lake Hefner-Water-Loss investigations.

8) F. H. W. Green — Problems raised by the operation of, and the Results from, a small network of British Evaporation measuring stations.

9) K. Ubell — The Water Balance of the Sand Ridge between Danube and Tisza.

10) A. Marchetti — L'évaporation dans les lacs naturels et artificiels.

Une autre séance relative à l'évaporation aura lieu à une date à fixer à Toronto. MM. Earl Harbeck, Friedrich et Volker sont priés d'examiner la possibilité de la constitution d'un comité sur l'évaporation et l'évapotranspiration.

#### Mercredi 11 septembre

9 h. — *Commission des Eaux Souterraines. 5<sup>e</sup> Séance.*

*Etudes diverses et notamment utilisation de substances radio-actives*

1) J. F. Caley and K. Politt — Status of Ground-Water Studies in Canada.

- 2) R. Schneider — Correlation of Ground Water Levels and Air Temperatures in the Winter and Spring in Minnesota U. S. A.
- 3) C. G. Dixon — A hydrological Survey in British Honduras.
- 4) A. E. Scheidegger — On the Theory of Flow of miscible Phases in porous Media.
- 5) H. E. Skibitzke — The use of radioactive tracers in hydrologic field studies of Ground-Water Motion.
- 6) F. A. Makarenko — Laws of Formation of underground run-off and methods of conversion it into open reservoirs and rivers.
- 7) A. K. Roy — Exploratory drilling for groundwater in the Narmada Valley. India.
- 8) G. C. Chaterja, V. Subramanyam and P. H. Jones — Ground Water Control in the Neyveli Lignite Field South Arcot District. Madras.
- 9) G. C. Chaterji and A. B. Biswas — Studies on the Groundwater conditions of the Mahendragarh District. India.

### Mercredi 11 septembre

14 h. — *Commission des Eaux souterraines. — 6<sup>e</sup> Séance.*

*Pollutions, salinité, etc.*

- 1) G. Tison — Essai d'explication de constations faites sur les variations de salinité de certaines eaux du sous-sol bruxellois.
- 2) Dr. F. Nöring — Contamination of Ground Water by Soil Wells.
- 3) L. Tison — La salinité des eaux artésiennes en Belgique du Nord.
- 4) Prof. Dr. J. K. Baars et Dr. H. J. Boorsma — Pollution of Groundwater.
- 5) R. Ambroggi, E. de Gelis et L. Monition — Décontamination de la nappe phréatique de Skhrirat envahie par du kéronèse.
- 6) J. F. Mann et R. O. Stone — Pollution of Ground-Waters by Oil Fields Wastes in Southern California.
- 7) L. Zorzi — Possibilité du tirage d'eau douce des nappes soutenues par des eaux saumâtres.
- 8) G. Santing — Drawing both fresh and salt water from one pumping well.

### Mercredi 11 septembre

14 h. — *3<sup>e</sup> Séance de la Commission des Eaux de Surface (2<sup>e</sup> Séance sur les Prévisions)*

- 1) M. I. Lnovich — Factors of the formation of Rivers Run-off (in French).
- 2) J. Rodier — Emploi systématique des bassins versants élémentaires pour les études hydrologiques dans les territoires sous-développés.
- 3) S. Kaszmarek — Efficiency of the Estimation of Floods with a given return-period.
- 4) J. Larrieu — Evaluation des crues catastrophiques par la méthode des hydrogrammes synthétiques.
- 5) H. E. Schwarz — Determination of Flood Frequencies in a Major Drainage Basin.
- 6) L. Gherardelli — Caractéristiques de la variabilité des apports météoriques et des débits annuels dans les bassins hydrographiques italiens.
- 7) V. L. Shultz — The main peculiarities of the regimen of rivers in Central Asia and Ways of their utilization.
- 8) Koichi Aki — Hydrological Studies in Japan.
- 9) D. Srebrenovic — Relation between Rainfall and Runoff.

**Mercredi 11 septembre**

14 h. — *Commission des Neiges et des Glaces. 7<sup>e</sup> Session.*

*Glaciers.*

- 1) J. K. Landauer — On the Deformations of Excavations in the Greenland Neve.
- 2) R. Haefeli — Mesure des pressions et des déformations dans des galeries de glace.
- 3) M. F. Meier — The Mechanics of Crevasse Formation.
- 4) B. Brockamp — Reiteration-Measurements of seismic Reflection at the Pasterze-Glacier and its importance for the identification of variations of Glaciers and Inland Ice.
- 5) M. Dunbar — Curious Open Water Features in the Ice at the Head of Cambridge Fiord.
- 6) R. Finsterwalder — Scope, State and Development of precise Glacier Surveys on the Earth.
- 7) A. Johnson — Investigations on Grinnel and Sperry Glaciers, Glacier National Park, Montana.
- 8) G. A. Avsyuk — Glaciological Investigations in the Soviet-Union.
- 9) O. Förtsch and H. Vidal — Beiträge zur Erforschung subglazialer Talformen.

**Jedi 12 septembre**

9 h. — *Symposium sur la rosée, les précipitations occultes et leur pénétration dans le sol.*

- 1) G. Hofmann — Dew Measurement by thermodynamical means.
- 2) J. Damagnez — Les sources secondaires d'humidité et l'approvisionnement en eau des sols de la France Méditerranéenne.
- 3) V. V. Tugarinov — The study of the condensation process of atmospheric water vapours and their role in formation of underground waters.
- 4) Prof. M. Visentini et Prof. M. Vanni — Contribution de l'Italie à l'étude des condensations atmosphériques.
- 5) L. L. Harrold and F. R. Dreibelbis — Evaluation of Dew Amounts.
- 6) M. Hallaire — Diffusion de l'eau à l'état vapeur et liquide au voisinage de la surface d'évaporation et dessèchement superficiel du sol.
- 7) Dr. I. Arvidson — Plants as dew collectors.
- 8) J. Grünow — Comparable Measurements of Fog Precipitation.
- 9) V. N. Koonin — Conditions of the formation of underground waters in deserts.
- 10) M. Trénel, H. Weber and H. Lindner — Ueber die Kondensation des Wasserdampfes im Boden.

14 h. — *Continuation du Symposium*

Présentation et discussion des contributions qui n'ont pu être présentées dans la matinée.

*Conclusions*

15½ h. — *Présentation des contributions sur les précipitations.*

**Vendredi 13 septembre**

9 h. — *4<sup>e</sup> Séance de la Commission des Eaux de surface (3<sup>e</sup> Séance sur les Prévisions).*

- 1) N. Bachet — Méthode graphique d'annonce des crues.
- 2) Dr. Wallner — Flood Forecast based on precipitation Data for the Upper Main.
- 3) D. Tonini — Sur les prévisions expérimentales des débits d'un cours d'eau.



4) Tate Dalrymple — Flood Frequency Relations for gaged und ungaged Streams.

5) A. Coutagne — Comment caractériser la variabilité périodique d'un facteur hydrologique.

11 h. — *Comité des caractéristiques hydrologiques des cours d'eau.*

1) Exposé de la situation, L. J. Tison.

2) Laszlóffy — Addenda aux Comptes-Rendus de l'Assemblée Générale de Rome.

3) Discussion.

**Vendredi 13 septembre**

14 h. — *5<sup>e</sup> Séance de la Commission des Eaux de surface (4<sup>e</sup> Séance sur les Prévisions).*

1) Prof. G. Supino — Sur l'élaboration statistique des données hydrologiques.

2) Prof. J. Lambor — Courbe de probabilité exprimée par des paramètres régionaux.

3) G. A. Alekseev — Computations of the Maximum Run-off in the absence of observations.

4) P. K. Debski — Méthode empirique d'évaluation des débits des crues probables.

5) J. P. Bruce and D. V. Anderson — Hydrometeorological and Hydrological Study of the Storm and Floods of October 1954 in Southern Ontario, Canada.

6) J. Jacquet — Essai d'analyse des données hydrologiques relatives aux singularités de régime (crues et étiages) au débouché d'un bassin fluvial étendu.

7) L. P. Popov — Changes in the shores of reservoirs and their forecasting (in French).

8) T. Jablonska, Z. Mikulski et W. Stephan — Les monographies hydrologiques réalisées par le service hydrologique de Pologne.

9) Service hydrographique Italien — L'étude des Eaux de surface et souterraines en Italie.

10) Service hydrologique de Pologne.

**Vendredi 13 septembre**

14 h. — *Erosion Continentale. 4<sup>e</sup> Séance.*

1) Z. Karolyi — Reduction of Scatterings experienced in the Evaluation of Sediment Load Measurements

2) E. Walser — Mesures récentes de dépôts d'alluvions dans certains deltas.

3) G. V. Lopatine — River Drifts in the U. R. S. S.

4) Toru Onodera — National Report on Erosion in Japan

5) Dr. Z. Kajetanovicz — La dépendance de la granulation du gravier du lit de la rivière de ses qualités physiographiques

6) S. Jovanović et M. Vukévić — Suspended sediment Region on some watercourses in Yugoslavia and Analysis of Erosion Processes.

7) M. Pardé — Quelques valeurs nouvelles expérimentales des transports solides de fond.

8) Simaika.

9) W. Jarocki — Méthodes empiriques de calcul des matériaux en suspension.

# COUNCIL OF THE A.I.H.S.

REUNION DU 3 SEPTEMBRE 1957 A 14½ H.

MEETING OF SEPTEMBER 3 AT 2½ P. M.

## ORDRE DU JOUR.

- 1 — Ouverture par le Président
- 2 — Situation financière
- 3 — Prévisions budgétaires
- 4 — Programme
- 5 — Travail Scientifique de l'Association
- 6 — Publication
- 7 — Relation avec W.M.O.
- 8 — Relation avec UNESCO
- 9 — Association d'Hydrogéologie
- 10 — Irrigation et drainage
- 11 — I.S.O.
- 12 — E.C.A.F.E.
- 13 — E.G.I.G.
- 14 — Relations avec diverses associations et organisations
- 15 — Année Géophysique Internationale
- 16 — Symposia pour la période 1957-1960
- 17 — Sujets à mettre à l'étude pour la prochaine Assemblée
- 18 — Résolutions et Recommandations
- 19 — Divers

## AGENDA

- 1 — Opening by the Presiden
- 2 — Financial Situation
- 3 — Budget Forecast
- 4 — Programme
- 5 — Scientific work of the Association
- 6 — Publications
- 7 — Relationship with W.M.O.
- 8 — Relationship with UNESCO

9. — Association of Hydrogeology
10. — Irrigation and Drainage
11. — I.S.O.
12. — E.C.A.F.E.
13. — E.G.I.G
14. — Relationship with other associations and organizations
15. — International Geophysical Year
16. — Symposia for the period 1957-1960
17. — Subjects to be studied for the next Assembly
18. — Resolutions and Recommendations
19. — Miscellaneous

LE PRESIDENT OUVRE LA SEANCE A 14<sup>3</sup>/<sub>4</sub> H

*Présents* : Mr. ALEXANDER, Australia; G. TISON, Belgique; M. GOLD, Canada; M. SERRA, France; M. FRIEDRICH, Allemagne; Mr. ALLARD, Grande Bretagne; Mr. GOLDSCHMIDT, Israel; Mr. LINSLEY, U.S.A.; M. AVSIUK, U.S.R.R.; Mr. KRUL, The Netherlands; MM. TIXERONT et BEN OSMAN, Tunisie; Y. ABDEL MAGEED, Soudan;

*Président* : J. TH. THIJSE. *Vice Président* : M. WILM.

*Secrétaire* : L. J. TISON

*Les présidents et secrétaires des commissions.*

## POINTS 2 ET 3.

Le Secrétaire fait l'exposé contenu dans le rapport publié dans le Compte-Rendu de la première Assemblée Générale et dont les conclusions sont:

a) au 1<sup>er</sup> janvier 1957, l'Association ne possède pratiquement plus aucune disponibilité.

b) les ventes des publications augmentent considérablement. En 1957, on peut espérer qu'elles atteindront plus de 5000 \$.

c) les publications absorbent la quasi totalité des disponibilités.

d) le Secrétaire, par suite de l'impossibilité de se payer une aide et en dépit de la collaboration de toute sa famille et particulièrement de G. TISON, ne peut plus continuer à assumer une telle charge dans les mêmes conditions.

Bon nombre des membres du Conseil voudraient qu'il soit procédé à un triage des publications pour l'impression. La même proposition a été faite à Rome, mais elle reste ici toujours aussi vague et lorsque le Secrétaire demande quels seront les critères et l'aéropage pour procéder à ce tirage, aucune proposition précise ne peut être retenue sinon d'inviter les comités nationaux à se montrer plus difficiles.

Le Président fait remarquer que le Comité des Finances de l'Union se livre à un examen des plus sérieux de toutes les comptabilités. Il estime que dans ces conditions, le Comité des Finances de l'Association, devient inutile.

Sur proposition de M. Allard, qui estime que le meilleur moyen consiste à promouvoir les ventes des publications, chacun des représentants au Conseil s'engage à faire parvenir au Secrétaire une liste des personnes et institutions intéressées à l'hydrologie et qui pourraient acheter les publications de l'Association.

Le Conseil est aussi d'accord pour estimer que la distribution gratuite des publications doit être réduite. Beaucoup de membres estiment même que la proposition du secrétaire (réduire de 25 %) doit être renforcée et sur proposition de M. Goldschmidt, on s'efforcera à limiter la distribution à  $n + 1$ ,  $n$  étant la catégorie du pays.

#### POINT 4

Le programme distribué par le secrétaire est adopté.

#### POINT 5

Le secrétaire dans son rapport s'étend longuement sur le programme scientifique de l'A.I.H.S. et la thèse se résume à ceci: l'A.I.H.S. ne doit pas seulement consister dans une assemblée tenue tous les trois ans et devant laquelle on présente des études certainement des plus intéressantes, mais l'Association doit *vivre* entre les Assemblées en dégagant des conclusions des réunions et en rassemblant ces conclusions sous forme de codes, de guides. Ces idées reçoivent l'approbation de tous les membres du Conseil, mais peu de conclusions pratiques sont cependant émises.

#### POINT 6

##### *Publications*

La question avait déjà été abordée au point 2. Le Secrétaire rappelle qu'en plus des Comptes-Rendus et Rapports de chaque Assemblée, l'Association publie la Bibliographie hydrologique et le Bulletin. Au sujet des Comptes-Rendus et Rapports, il remarque que ceux de Rome avaient reçu une forme plus soignée, caractérisée par un papier meilleur et des figures plus grandes. Mais ces améliorations ont coïncidé avec un nombre beaucoup plus élevé de rapports ce qui a provoqué un relèvement excessif du prix d'impression des rapports de Rome. Le secrétaire est d'avis qu'il faut revenir à une édition comparable à celle de l'Assemblée de Bruxelles. Au sujet de la Bibliographie, le secrétaire signale que l'aide de l'Unesco sera vraisemblablement remplacée par celle de l'O.M.M. Quant au Bulletin, on peut se demander si on peut continuer à lui laisser sa nature actuelle mi-administrative, mi-scientifique. Bien que le Secrétaire soit d'avis que c'est la bonne solution, il voudrait voir la chose largement discutée.

Le Président pense que, pour épargner le temps, on pourrait confier à une Commission le soin de conseiller l'Association sur ce point. Elle sera constituée de MM. Langbein, Serra, Allard et Tison. Elle remettra son rapport à la prochaine réunion du Conseil.

#### POINTS 7 à 15

Il est procédé à un rapide tour d'horizon mais ces points seront repris à une réunion ultérieure.

#### POINT 16

Trois propositions de symposia sont présentées:

a) Symposium Eaux et Terrains boisés. Le secrétaire a consulté certains membres du Conseil sur l'opportunité de ce symposium après avoir reçu de M. Friedrich une offre d'organiser ce symposium en Allemagne.

b) Symposium sur les rivières à marée à organiser avec l'Association d'Océanographie. C'est une proposition du Président.

c) Symposium sur un sujet des Neiges et Glaces.

Le Conseil est d'accord pour adopter ces propositions en principe, mais des pourparlers ultérieurs sont nécessaires avant de prendre une décision définitive. La prochaine réunion du Conseil est fixée au 4 septembre à 16 $\frac{1}{2}$  h. La séance est levée à 18 $\frac{1}{2}$  h.



2<sup>me</sup> REUNION DU 4 SEPTEMBRE A 16 $\frac{1}{2}$  H.  
2<sup>d</sup> MEETING OF 4 SEPTEMBER AT 4 $\frac{1}{2}$  P. M.

*Présents:* M. GOLD, Canada; M. GOLDSCHMIDT, Israel; ABDEL MAGEED, Soudan; W. ALLARD, United Kingdom; R. K. LINSLEY, U.S.A.; WILM, U.S.A.; G. W. ALEXANDER, Australia; W. KRUL, The Netherlands; L. SERRA, France; G. AVSIUK, U.R.S.S.; BEN OSMAN, Tunisie; W. FRIEDRICH, Allemagne; G. NYBRANT, Suède; G. TISON, Belgique; J. TH. THJSSE et L. J. TISON, A.I.H.S.

La séance est entièrement consacrée aux relations avec les autres organisations et particulièrement avec l'Organisation Météorologique Mondiale.

Le secrétaire refait d'abord un exposé de la situation. L'O.M.M. a reçu des Nations Unies la mission de réaliser dans le domaine hydrologique quelque chose d'analogue à ce qu'elle fait en Météorologie. Elle a constitué à cet effet un groupe de travail de 6 membres dont l'un est le Secrétaire de l'A.I.H.S., choisi du fait de sa fonction, afin d'assurer une collaboration entre les deux organisations. Le secrétaire a exposé la situation dans le bulletin n° 4. A Dijon, le Conseil a exprimé l'avis que le Secrétaire devait continuer ses efforts pour arriver à une collaboration des deux organisations. Il faut en effet tenir compte du fait accompli suivant: l'O.M.M. a été chargée de la mission indiquée par les Nations Unies.

Presque tous les membres du Conseil interviennent dans la discussion. Certains estiment que l'O.M.M. n'était pas précisément indiquée pour remplir cette mission et craignent que l'hydrologie ne soit traitée par cette organisation qu'au simple point de vue de l'hydrométéorologie.

Le Secrétaire insiste sur l'impossibilité d'une autre solution après la décision des Nations Unies, il reprend en passant ce qu'il a dit au sujet du travail scientifique de l'Association (voir point 5) et se demande si l'Association fait tout ce qu'elle devrait faire. Il signale l'avantage déjà obtenu pour le soutien de la bibliographie.

Le Conseil fait finalement confiance au secrétaire pour qu'il continue ses efforts pour arriver à une collaboration satisfaisante des deux Organisations.

Une dernière réunion du Conseil sera tenue le 11 septembre à 15 h.

3<sup>e</sup> RÉUNION DU CONSEIL 11 SEPT. 1957  
3<sup>rd</sup> MEETING OF THE COUNCIL 11 SEPT. 1957

ORDRE DU JOUR:

- 1 — Propositions du Comité de Nomination
- 2 — Recommandations et Résolutions
- 3 — Sujets à traiter pour 1960
- 4 — Symposia
- 5 — Bulletin

*Présents:* G. TISON, Belgique; R. H. CLARK, Canada; R. K. LINSLEY, U.S.A.; G. N. ALEXANDER, Australia; L. SERRA, France; G. AVSIUK, U.R.S.S.; M. DE QUERVAIN, Switzerland; J. TIXERONT, Tunisie; E. BEN OSMAN, Tunisie; W. FRIEDRICH, Germany; J. NYBRANT, Suède; M. GOLDSCHMIDT, Israel; W. ALLARD, Great Britain; L. GHERARDELLI, Italie; W. KRUL, Netherlands; S. BUCHAN, Sec. Underground TWaters Comm.; G. NELSON SAYRE, Pres. ground water comm; J. LAMBOR, Poland; ISON L. J., A.I.H.S.; THYSSE J. TH., A.I.H.S.

### 1— *Proposition du Comité de Nomination.*

Après discussion, ces propositions sont acceptées dans leur ensemble, après introduction de M. Maxey comme vice-président des Eaux Souterraines. La liste, présentée par le Conseil à l'Assemblée Générale est celle qui est reproduite ci-après

### 2— *Recommandations et résolutions.*

Elles sont reproduites après la liste du nouveau Comité. M. Tixeront aurait voulu introduire une nouvelle recommandation relative à la mesure mondiale des sédiments transportés; cette mesure, faisait-il remarquer, combinée avec celle des éléments dissous qui fait l'objet d'une autre recommandation, permettrait de se rendre compte du volume total de matériaux solides de l'écorce qui arrivent à la mer.

Le président et le secrétaire, tout en marquant leur intérêt pour cette proposition, font remarquer qu'une telle recommandation a déjà été prise à Rome et que seule, deux nations ont accepté de procéder à ces mesures dans le cadre d'une enquête. Mieux vaudrait reprendre cette question après avoir pu se rendre compte de ce que l'enquête sur les matières dissoutes a donné. Le Conseil est d'avis de reporter à Helsinki la proposition de M. Tixeront.

Les autres recommandations et résolutions seront proposées à l'Assemblée.

Une des résolutions se rapporte à l'établissement d'un comité de l'évaporation et de l'évapotranspiration. La composition de ce comité a été donnée avec celle des comités déjà existants: il faudra cependant y ajouter les noms des délégués des deux Associations d'Océanographie et de Météorologie.

### 3— *Sujets à traiter pour la prochaine Assmblée.*

La liste de ces sujets est donnée plus loin.

### 4— *Symposia*

Sur proposition du Président, le symposium sur les Rivières à Marée; en collaboration avec l'Association d'Océanographie, aura lieu lors de la prochaine Assemblée Générale.

Le symposium sur:

Le Mouvement de la Glace au point de vue de la physique;

The Physical aspects of ice-movement aura lieu du 16 au 24 septembre 1958 à Chamonix. Quant au symposium sur:

L'Eau et les Terraines boisés;

Water and Woodlands

il se tiendra en 1959 en Allemagne Occidentale.

### 5— *Bulletin*

La commission composée de MM. Serra, Langbein, Allard et Tison a remis au Conseil le rapport suivant:

*Trois solutions peuvent être envisagées:*

a) Réduire le bulletin aux dimensions d'une sorte de circulaire paraissant 4 fois par an, indiquant en quelques mots les faits et renseignements généraux intéressant l'A.I.H.S. Le bulletin serait réduit à 4 ou 5 pages par numéro.

b) Donner au bulletin sa forme actuelle, mais sans partie scientifique. Les rapports et exposés seraient complets comme ils le sont actuellement, et permettraient à chacun de suivre dans le détail la vie de l'Association et des organisations avec qui l'Association a des relations (W.M.O., Zones Arides, etc...).

c) Laisser au bulletin sa forme actuelle avec une partie scientifique réduite à 1 ou 2 communications.

La solution 1) est celle qui coûterait le moins, mais elle paraît insuffisante

dans notre cas, car la plupart de nos membres désirent connaître notre situation et celle de nos rapports avec les autres dans le détail, notamment pour connaître certaines possibilités offertes par les organisations gouvernementales.

La solution 2) coûtera presque autant que la solution 3) et elle ne permettra pas de vendre le bulletin (pas plus d'ailleurs que la solution 1).

La solution 3), surtout avec la publicité, permet d'équilibrer le budget du bulletin. De plus, elle nous donne l'occasion de publier des études générales ne répondant pas aux questions posées aux Assemblées.

MM. ALLARD, LANGBEIN, SERRA et TISON ont discuté la question sur la base des considérations précédentes. Ils estiment que dans les conditions actuelles de l'Association, le but principal à atteindre est de faire connaître l'Association, son activité, ses publications. Dans ces conditions, il est indiqué d'avoir une publication réduite (à fort tirage), distribuée gratuitement. Ils pensent qu'on pourrait la tirer à 2.000 exemplaires, les uns en français, les autres en anglais, sur 4 pages environ, 4 fois par an. Le représentant de chaque pays se chargerait de la distribuer dans son pays.

D'autre part, cette publication du type 1, ne permettrait pas de donner aux membres habituels de l'Association des indications très étendues sur des sujets les intéressant, comme des détails sur la vie de l'Association, les relations avec W.M.O., l'UNESCO, etc...

Par ailleurs, le succès de la publication 1 ne pourrait apparaître qu'au bout d'un certain temps, notamment en comparant les chiffres de vente des publications avant ou après la création de ces « Informations Hydrologiques ».

Le Comité propose donc la continuation du bulletin tel qu'il existe actuellement pour une période d'un an minimum, de façon à donner les indications en question, tout en réduisant les frais par la vente du bulletin.

Le Conseil a fait sien ce rapport.

La séance est levée à 19 h.

# PREMIÈRE ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE L'A.I.H.S. 5 SEPTEMBRE A 9 H.

## 1. Ordre du jour:

- a. Adresse présidentielle par J. TH. THYSSE
- b. Rapport du Secrétaire L. J. TISON
- c. Discussion du rapport du Secrétaire. Exposé de diverses questions.

## 2. L'Assemblée est ouverte par M. J. TH. THYSSE.

*Etaient présents :* G. TISON jr, Belgium; A. N. SAYRE, U.S.A.; M. KRUL, The Netherlands; R. GRAHMANN, Germany; E. L. HAMILTON, U.S.A.; H. G. WILM, U.S.A.; W. FRIEDRICH, Germany; P. D. BAIRD, UK.; A. VOLKER, Holland; W. ALLARD, V.K.; L. J. TISON, A.I.H.S.; S. BUCHAN, U.K.; G. NYBRANT, Sweden; S. KOLNPAILA, U.S.A.; E. L. WALKE, U.S.A.; R. KELLER, Germany; G. R. S. STOW, U.K.; JOHN F. MANNI, jr, U.S.A.; HARRY F. BLANEY, U.S.A.; W. E. HIATT, U.S.A.; M. A. KOHLER, U.S.A.; G. M. ALEXANDER, Australia; R. K. LINSLEY, U.S.A.; R. N. WILSON, U.S.A.; H. KURON, Germany; G. NAHRGANG, Germany; A. A. ARAJS, Canada; O. P. WOLF, U.K.; F. FOURNIER, France; VEN TE CHOW, U.S.A.; MARK F. MEYER, U.S.A.; S. EARL HARBECK jr., U.S.A.; MILTON S. SACHS, U.S.A.; ABDEL MAGEED, Sudan; W. STICHLING, Canada; F. I. MORTON, Canada; W. M. BERRY, Canada; J. TIXERONT, Tunisie; BEN OSMAN ENAAD, Tunisie; H. E. SCHWARZ, U.S.A.; M. I. IVERONOVA, U.S.S.R.; J. A. AVSIUK, U.R.S.S.; M. PARDÉ, France; M. R. DE QUERVAIN, Switzerland; R. FINSTERWALDER, Germany; B. BROCKAMP, Germany; MAX SUTER, U.S.A.; H. SCHOELLER, France; VIBERT A. M., France; CARROL F. MERRIAM, U.S.A.; J. P. WILLIAMS, Canada; L. SERRA, France; T. R. HENRY, U.S.A.; C. RÉMÉNIERAS, France; W. H. DURUM, U.S.A.; ROBERT SCHNEIDER U.S.A.; FRED. H. KLAER jr., U.S.A.; JEAN RODIER, France; M. W. MONSINGER, Canada; A. F. GEIGER, U.S.A.; S. BUCHAN, U. K.; J. TH. THYSSE, Holland; L. J. TISON, A.I.H.S.

## 3. ADRESSE PRESIDENTIELLE

*par le Prof. J. TH. THYSSE*

Some time ago an American Meteorologist remarked that meteorological phenomena are approached by five successive steps: suspicion, observation, explanation, influencing and engineering

I think this is quite true, not only in meteorology, but also in other branches of science, certainly in hydrology

The suspicious stage was less marked than in meteorology, where people were awestruck by lightning and thunder before they started systematic observation which, in its turn, led to explanation. On the other hand hydrology goes much farther in influencing and engineering, which in meteorology is just starting in artificial rain. Especially our rivers are influenced and engineered to a great extent by man.

One may ask if this part of our relationship with rivers may still be considered as hydrology, or if it is beyond the scope of a scientific organization.



Where are the limits of the activity of the scientific unions?

I shall leave *suspicion* aside, but on the other hand, I will introduce another factor, namely *prediction*. After having observed a phenomenon and often after having arrived at more or less satisfactory explanations, one will often try to predict when the phenomenon will occur and which intensity it will have. Prediction, forecasting, is, of course, most important in meteorology, but hydrology too has included prediction more and more in its studies.

I do not see a sharp boundary between influencing and engineering. Therefore I shall combine them and call both «influencing». So we have four main items, namely observing, explaining, predicting and influencing.

Every study starts with observations. In most cases observing is done by means of instruments, often complicated and delicate. To create order in a chaos of observations it will often be necessary to classify them and, in cases where the ultimate aim is prediction, statistics will have to be applied. So observation really consists of four parts: the observing proper, instrumentation, classifying and statistical analysis.

What is the object of scientific study? A real scientist works for the sake of study alone. He tries to unravel nature's secrets: it is the explanation of the phenomena he is after. He does not worry much about the practical value of his results. Nobody will deny that this is the field of the scientific Unions.

There are, however, many more scientists of another type. It is true that they, too, may rejoice in a successful scientific achievement, but in the back of their mind they have the question if the result of their labours can be used for the benefit of mankind.

Their ultimate aim is either prediction or influencing, or both. Here we approach the field where other people than the scientists are also active. Take a river for example. The prediction of a low discharge may be important for navigation. Forecasting of a flood may save the lives of many inhabitants of the catchment area. The Frequency of extremely high floods, calculated in the strength of statistical analysis of many observations will influence the hydraulic engineering constructions: dams or bridges.

On the strength of the papers presented at this meeting I have tried to make a test of the activities in the subjects which are studied in our Association. The result is as follows :

	Obs.	Instr.	Clas.	Stat.	Exp.	Pred.	Infl.
Precipitation	x	x	x	x	x		
Evaporation	x	x		x	x		x
Snow	x	x	x	x	x		
Ice, (Sea, lakes, rivers)	x		x	x	x		
Glaciers	x		x	x	x		
Ground water	x		x	x	x	x	x
Lakes	x	x	x	x	x		x
Rivers	x	x	x	x	x	x	x
Land Erosion	x				x		x

Two questions now arise:

First: is all this the task of the hydrologist?

Second: is it the task of our Association?

The answer to the first question is not difficult to give. All belongs to the hydrologist and the only borderline which has to be considered is that between the hydrologist and the hydraulic engineer.

But, here too the line is very sharp: it is evident where the hydrologist ends and where the hydraulic engineer begins: the design and the building of the structures which influence the regimen of the river, is the task of the latter; the data which are needed to make a good project must be supplied by the former.

Evidently explaining and predicting are the chief task of the hydrologist.

What about observations? It is certain that the hydrologist will indicate which observations have to be made and also which accuracy must be accomplished. He will develop the instruments which are needed and see that they yield reliable data. In most cases he will need the help of specialists, but the instrument builders must be guided by the man who knows what he wants to achieve with the apparatus.

Once a program of observations has been established the actual observing is a routine work which may be done by other people than the hydrologist himself. Collecting observations, however, and putting them in the right order, is the task of the hydrologist. He makes the statistics and also descriptions, which lead to classification.

The number of observations is ever increasing and therefore they must be selected in such a way that the greatest result can be achieved with the lowest number of observations. It is not necessary that all phenomena are continuously observed: this may be done during relatively short periods, say one year, far apart in time.

The idea of the geophysical year is to coordinate the « active » periods of many different phenomena; in this way a very complete set of observations in many fields is available from time to time.

Observations which are done in very long continuous series, such as readings of gauges rivers and in tidal regions, are not affected by the geophysical year: they go on just as they do in other years. This is a reason why the contribution of the Association for Hydrology to the I.G.Y. does not appear to be very great. Still the readings are there and may be used in connection with special observations for the I.G.Y., if needed.

This is true for rivers and lakes and more or less also for groundwater. For snow and ice conditions are different however. The greatest masses of snow and ice on earth, Antarctic and Greenland, are not regularly observed. Our Commission for snow and ice therefore has a special task during the I.G.Y.

We especially hope that its expedition to the Greenland Inlandsis will be successful and will yield interesting results.

In the border land between meteorology and hydrology, there is another phenomenon, which is not permanently under complete control: evaporation. You will remember that at the occasion of the tenth I.U.G.G. congress, in 1954, it was recommended to include evaporation as an object for the coming geophysical year. Unfortunately the effect of these recommendations was not very great: only a limited number of observations on evaporation has been added to the program of the I.G.Y. So evaporation will not be efficiently covered during the I.G.Y.

Evaporation carries me from the first question to the second: which are the boundaries of the activities of our association?

More than one association of I.U.G.G. are interested in evaporation: meteorology, oceanography and hydrography. To which of the three should it belong? The answer is: to all the three of them; a certain amount of overlapping is not only harmless, but it is strongly recommended. Of course collaboration is necessary and we are glad that this collaboration exists: the joint symposium on the water balances of the earth, at which the three associations took part, is a proof thereof.

Precipitation too is a part of the water balance and therefore a subject common to the same three associations. The mixed committee on precipitation, created by the associations of meteorology and hydrology ensures collaboration in this field.

In the tidal rivers the associations of oceanography and of hydrology meet.

Neither has paid much attention to this most interesting subject and during this congress it will hardly be discussed. Possibly in future a joint meeting of these two associations will be devoted to tidal rivers.

Tidal rivers, like other rivers, may be influenced by man and so we come to the border line between our association and the engineering associations. These belong to the Union of international engineering organisations which is the opposite number of our I.C.S.U. in science. At least five of the adhering associations use hydrological data: World Power Conference, Large Dams, Irrigation and Drainage, Navigation Congresses and Hydraulic Research. There seems to be little official contact between these associations and ours, but many hydrologists are members of one or more of the international engineering associations. There is no competition.

There are hardly any contacts between us and the other Unions adhering to I.C.S.U. They are working in other fields.

Another group of international organisms, depending upon the United Nations Organizations, is active in hydrology. UNESCO, of course, takes an interest in all scientific studies, thus also in hydrology. It sponsors several projects by allowing a grant for them.

Its aims are not the same as that of I.U.G.G. and its associations, it is not science but benefit of mankind. It does not look for the solution of problem, but for the utilization of water resources. This is particularly true for the UNESCO Commission on Arid Zones. Hydrology is applied by it, not studied. That is the task of our association.

A good collaboration is possible if hydrologists are members of the working parties. There they meet the special problems which can be studied by our association, so that the results of the study will be available when needed.

E.C.A.F.E., another U.N.-body, not belonging to UNESCO but to ECOSOC, is also interested in hydrology because of its sections of flood protection and of navigation. I think that relations between I.A.H. and E.C.A.F.E. should be intensified in order to avoid unnecessary work.

A different relationship exists with I.S.O., the standards organization. Recently this organism has started standardization of measurements in open channels. I doubt if this work can be done efficiently at this moment. Hydraulic measurements are not ripe yet for standardization. Our own Committee on instruments is trying to indicate how far instruments have been developed, what can be done with them, before all what can not be done with them and in which way perfection should be achieved. Experience from all over the world must be assembled and analyzed.

This work is hampered because the people who have to do it are all very busy and cannot devote enough time to it. So, the Committee which was created in 1951, could not yet make a report. It can never make a final report, because evolution goes on and finality can not be achieved.

A long cherished project of our Association is a description of the main rivers of the world. Making a catalogue of the rivers will involve a very great amount of work. It can only be done if a number of people can devote all their time to it. This means a permanent service with a paid staff: a project that can only be realized if the necessary funds are allotted to the association. Before the funds were available the World Meteorological Organization announced that it was going to do this work.

This is only acceptable if our association takes part in the preparation and the execution of the project. By a close contact with our association a satisfactory arrangement can be had.

Still, I consider it a better arrangement if our association would be able to do this classifying by itself. It does not have to jump from one project to another which many U.N.O. organisms have to do. There is more stability and continuity in a scientific body than in other organisms.



One of the best known rivers in the world, the Rhine, is being considerably influenced by man. A number of dams, serving hydroelectric power as well as navigation, have been made. Others will follow. The hydrological data needed for the design and the operation of those dams are available.

The attention of hydrologists is now turned to the prediction of floods and especially to long-term prediction of low discharge. These predictions enable efficient operation of the large storage basins in the lower course of the Rhine, mainly the Yssel Lake and the future lakes of the so called Delta-project in the south-western part of the Netherlands.

On the Rhine, hydrologists do not need the help of the hydraulicians to study the propagation of floods and of low stages downstream. On the Mississippi, however, this problem is complicated, and one can easily understand why the hydraulic engineers have constructed a small-scale model of the whole Mississippi catchment area in order to study the effect of the translatory waves coming from the many existing and proposed storage basins on the various sections of the long, long river.

The same is true of another well-known river, the Nile. For thousands of years, the water of this river has been used for the benefit of the people living in the valley. At a very early date they started noting flood levels and now we have a record of much more than one thousand years; with gaps, it is true, but enough to give a good idea of what happened. Much information about the history of the Nile can be found in the monography by Mr. Hurst. The ever-increasing population wants to profit as much as possible from the water resources of the Nile. The ideal is that not a single drop of water is spilt unnecessarily into the Mediterranean: all should be used for irrigation and hydro-electric power.

The water is not available at the same moment as that when demand is greatest and so storage is necessary. The lakes in Uganda and in Ethiopia afford much storage room in the upper course and artificial storage may be provided as well. There is room for so much water that the shortage of a series of dry years may be supplied from the basins if they are operated efficiently. This means over-year storage and that in its turn means evaporation loss. Operation is efficient if evaporation is reduced to the lowest minimum and the water is sent down to the places where and when it is needed.

A study by Mr. Morrice, a summary of which is included in a paper presented at this meeting, shows how this may be done.

Storage in the natural lakes does not cause much extra evaporation: They are high up in the mountains and their surface does not increase much when water is stored in them. The artificial storage basins may be made at many places of the river, on the lower course as well as in the middle one. One of these is the much-discussed Aswan reservoir. Here storage will cause extra evaporation especially in those reservoirs whose surface increases considerably by storage.

At first sight one may think that as much water as possible should be stored in the upper lakes, but it is not as simple as that. A disadvantage of storing far upstream is the great time lag between the moment when the water is released from the lake and the moment when it is available at the place where it is required. Also there are transmission losses also partially caused by evaporation from the huge papyrus marshes near the confluence of Bahr el Jebel and Bahr el Gaza. Bypassing these marshes by means of a diversion canal is part of the project.

It is evident that the contribution of hydrology to the project is to evaluate the amount of evaporation as accurately as possible. Another task of the hydrologist is to calculate the artificial flood waves which travel downstream along the river.

In order to compare one method of evaporation with another it is necessary to calculate what would have happened in a period for which full hydrological data is available. Fortunately such complete observations have been made since 1904,

but the work which has to be done is overwhelming. One has to calculate, month by month, what would have happened at the many control points, how evaporation was affected and so on. Back-checking is repeatedly necessary. Calculating one method of operation for, say, 48 years would take several months. Dozens, perhaps hundred, methods must be investigated until the best one is found.

This cannot be done: special means must be applied to reduce the time needed for the computation. A small scale hydraulic model of the Nile basin could be made, but the experience with the Mississippi model is not encouraging. Especially the very high cost of such a model investigation cannot be overlooked.

An electric analagon model would also be possible, but this too is very expensive. The solution has been presented by the electronic mathematical computer. Apart from programming the calculation of a period of 48 years can be done in a few minutes. Now one does not mind to look for the effect of a slight variation in the method of operation: many runs have already been made. The ultimate result is not yet available, but it is certain that the amount of land which can be irrigated depends largely upon the choice of storage basins and of their correct operation. It is also certain that for an efficient use of Nile water, the Aswan reservoir may be smaller than the one created by the planned high Sudd-el-Aali dam.

The modern computing machine is a new item in hydrology and it has proved to be a very powerful means by which studies can be made which would have otherwise been impossible. Hydrologists as well as other scientists should always look for new ways which may help them in their interesting but difficult work. We should not neglect the use of radio active tracers either.

Another lesson may be learned by Mr. Morrice's study. He left all political considerations apart and tried to find the greatest possible benefit for the people living in the Nile Valley as a whole. Extra benefit for one country at the cost of another in the Nile Basin project is not included in the programming of the computer. This is a fine example for a scientific body such as ours in which hydrologists of all nations collaborate to achieve an ideal and the advancement of science.

#### 4. RAPPORT DU SECRÉTAIRE SUR LA VIE DE L'ASSOCIATION AU COURS DE LA PÉRIODE 1954-1957

*Ce rapport a été adopté par l'Assemblée qui, sur proposition du Président, décide la suppression du comité des Finances.*

1. Je m'étais figuré que mon rapport triennal aurait été réduit à de modestes proportions du fait de l'existence du Bulletin qui est sensé vous tenir au courant de la vie de l'Association, du fait aussi des Symposia Darcy qui m'ont permis de faire le point avec beaucoup d'entre vous, l'an dernier, en France.

Mais lorsque j'ai voulu préparer ce rapport, je me suis aperçu que j'avais bien plus à vous dire que lors des dernières Assemblées. Pour un moment, je me suis demandé si, en vieillissant, je ne devenais pas bavard. C'est à vous de juger. Je crois d'ailleurs qu'il n'en est rien et que c'est le nombre de sujets dont j'ai à vous parler qui a crû dans des proportions que j'espère un peu exceptionnelles.

2. Je me vois obligé de commencer par un sujet qui a toujours été, et qui reste, malheureusement notre grand souci: la question financière. Je me

permettrai donc de mettre sous vos yeux le tableau récapitulatif de notre vie financière au cours de la dernière période.

Dépenses	\$	Recettes	\$
1. Publications		1. Allocations. UGGI	9.941
a) Comptes-Rendus de Rome, y compris programme, résumés, tirés-à-part, distribution	16.740	2. Unesco	
b) Compte-Rendu de Dijon (1 <sup>re</sup> Dépense)	3.459	a) pour publications	1.200
c) Bibliographie	1.846	b) pour bibliographie	1.500
2. Dépenses pour les Symposia (y compris subventions aux participants)	2.086	c) pour Symposia	2.310
Id. payé direct. par Unesco	1.270	3. Ventes de publications	6.085
3. Remboursement de frais de voyages		4. Intérêts bancaires	137
a) pour l'Assemblée	234	5. Dons	245
b) autres	272	6. Avoir au 1/1/1954	4.764
4. Frais de secrétariat			
a) Frais de dactyl., dessins, plans, etc.	320		
b) Timbres-poste	540		
c) Frais généraux (transport, douane, fonctionnement des commissions, etc.)	542		
5. Avoir au 31/12/56	143		
	<hr/> 27.452\$		<hr/> 27.452 \$

La consultation du tableau fait apparaître deux points principaux :

a) un fait malheureux : la réduction de notre avoir qui est ramené de 4.764 \$ à 143 \$.

b) une constatation réconfortante : les ventes, qui passent de 2000 \$ pour la période précédente à 6.085 \$.

On y voit aussi que les seuls frais d'impression constituent 81 % de nos dépenses. Les Comptes-Rendus de Rome notamment ont coûté une somme marquante, mais nous espérons que leur impression sur un papier soigné et une réalisation des figures à plus grande échelle auront donné toute satisfaction. Le nombre des études présentées à Rome (près de 250) a d'ailleurs exigé une augmentation sérieuse de la dépense.

Mais d'autre part, la montée quasi verticale de nos ventes montre enfin que nos publications sont appréciées mais qu'elles étaient et restent encore insuffisamment connues. Je demanderai encore un effort à chacun de vous pour m'aider à les faire connaître. La montée du chiffre de nos ventes devient encore plus spectaculaire quand on fait intervenir les chiffres postérieurs au 1<sup>er</sup> janvier 1957 : en 9 mois de cette année, nous avons vendu pour plus de 4500 \$. Il est vrai que ce record est particulièrement dû aux comptes-rendus des symposia Darcy dont d'autres ont dit la réussite et la haute valeur scientifique.



3. Ces considérations m'ont conduit à la conclusion qu'en dépit de la réduction sérieuse de notre avoir, nous pouvions envisager la prochaine période triennale de la façon suivante :

a) continuation de notre politique antérieure en ce qui concerne les publications, en introduisant cependant une légère réduction (25 %) du nombre des exemplaires distribués gratuitement, de façon à faciliter la vente tout en réduisant les frais. Deuxième mesure restrictive : diminution des frais de bibliographie en généralisant l'impression aux frais des pays adhérents.

b) Nécessité de prévoir une plus large marge pour les frais généraux. Je n'ai pas à vous dire comment j'ai pu maintenir ces frais à 5 % environ du montant total des dépenses, mais je crois devoir ajouter qu'il n'est plus possible de continuer de la même façon.

Nos propositions budgétaires sont les suivantes : Du 1/1/1957 au 31/12/59.

Dépenses	\$	Rentrées	\$
1. Impression des publications		1. Subvention. UGGI	
a) Comptes-Rendus de Toronto (y compris résumés et programme)	15.000	(tenant compte du reliquat de 1956)	12.000
b) Comptes-Rendus du Symposia (y compris une partie de Dijon)	6.000	2. Subvention Unesco et W.M.O.	5.000
c) Bulletin	2.000	3. Ventes publications	12.000
d) Bibliographie	1.000	4. Divers (publicité, intérêts...)	1.000
e) Manuel des Instruments de mesure	—		30.000\$
2. Secrétariat			
a) Frais dactyl., dessins, ...	500		
b) Frais de timbres, transport, etc.	1.500		
3. Déplacements	750		
4. Dépenses pour symposia	1.250		
	28.000\$		

Je me permets d'attirer l'attention sur deux points.

Tout d'abord, les subventions de l'Unesco. Vous savez qu'à l'inter-vention de l'U.G.G.I. une convention a été établie avec l'Unesco et d'autres Unions pour créer une Fédération des Services Permanents. Il en résulte évidemment que l'Unesco n'attribue plus à l'U.G.G.I. les subventions qu'il alloue à cette Fédération. On peut dire que l'U.G.G.I., dans son ensemble, n'y perd rien, mais il en résulte cependant que l'U.G.G.I. ne peut plus actuellement disposer directement de l'allocation aux Services Permanents (soit 22.000 \$ en 1957) et qu'il ne reste à sa disposition que 14.000 \$ environ contre plus de 30.000 autrefois. Comme nous n'avons pas de service permanent, nous ne pouvons intervenir que dans les 14.000 \$ et on m'a laissé entendre que ce serait assez maigre cette année.

D'autres difficultés se présentent d'ailleurs avec une subvention pour notre bibliographie que l'Unesco accorde, mais que l'ICSU estime ne pas devoir attribuer. Le fait est d'autant plus regrettable qu'une organisation-sœur de l'Unesco croyant que cette subvention nous est effectivement attribuée, estimait ne pas pouvoir nous aider. J'espère cependant avoir réussi à expliquer la situation.

Un deuxième point du tableau des prévisions budgétaires sur lequel je crois devoir insister, est la question des ventes. On pourra penser que mon évaluation est trop optimiste et qu'il est dangereux de supposer que le montant de nos ventes va suivre une progression géométrique. Je rappelle que pour les 8 mois écoulés de l'exercice 1957-1960, le chiffre des ventes s'élève à 4500 \$ : est-ce trop de supposer 12.000 \$ pour 3 ans ? Nos publications sont de mieux en mieux connues et je suis certain que vous allez m'aider à les faire connaître mieux encore.

4. Cette question financière enfin épuisée, je voudrais vous parler rapidement de nos diverses publications. J'ai dit que j'espérais que vous aviez été satisfait des « Comptes-Rendus et Rapports » de Rome et de Dijon. J'accepterai cependant volontiers vos suggestions pour les publications futures. La question de leur impression va se reposer. A Rome, j'ai cru devoir ne pas être favorable à une centralisation des publications entre les mains d'une firme d'éditions, préférant vous demander de rester nos propres éditeurs et je crois que l'expérience nous a donné raison.

Autre question : pour Dijon, nous avons réussi à imprimer les communications avant la réunion. Ce fut un véritable tour de force dont vous ne vous êtes peut-être pas rendu compte, mais que vous comprendrez quand vous saurez que j'ai reçu certaines communications quinze jours avant l'ouverture des Symposia.

A chaque Assemblée, je fixe des délais pour la réception des résumés d'abord, des rapports ensuite. A chaque Assemblée, je me plains du manque de discipline de beaucoup d'auteurs. A Rome, on m'a dit : « Vous n'accepterez plus de rapports après la date fixée, il faut être draconien ». A la date fixée, j'avais 40% des rapports en mains et je signalerai que la France s'était surpassée en m'envoyant tous ses rapports, moins un. Peut-être ne me croirez-vous pas, mais parmi les retardataires, il m'a semblé que se trouvaient ceux qui voulaient que je sois plus draconien ! Il y avait aussi tous les présidents des commissions et il y avait encore la plupart des auteurs du pays qui nous invite. Pouvais-je réellement me montrer draconien ? Messieurs, j'ai tout accepté.

Mais, je voudrais maintenant parler sérieusement. Cette irrégularité empêche l'impression avant la réunion et les Symposia de Dijon en ont cependant montré à tous les avantages. Ces retards empêchent même la composition d'un programme convenable, sans compter qu'ils peuvent être à l'origine de difficultés avec des amis d'Associations-sœurs.

5. Je m'excuse d'avoir pris la liberté de vous sermonner : je sais d'ailleurs que c'est inutile.

Aussi j'abandonne le sujet pour vous parler d'une question beaucoup plus importante.

J'ai cru pouvoir dire que les spécialistes appréciaient de plus en plus nos publications et nous pourrions en conclure que nous pouvons être fiers de notre travail. Avant de le faire, je voudrais relire avec vous l'article 1 de nos statuts :

« Les buts de l'Association sont :

- a) de favoriser et de développer l'étude de l'hydrologie,
- b) de provoquer, de faciliter et de coordonner les recherches et les études des problèmes hydrologiques qui nécessitent une coopération internationale, et
- c) d'assurer la discussion, la comparaison et la publication des résultats des recherches. »

Il me semble que notre Association a fait ce qu'elle devait pour atteindre les premier et troisième buts et même une partie du deuxième. Mais je me demande si elle a fait tout ce qu'elle pouvait pour « coordonner les recherches et études des problèmes hydrologiques qui nécessitent une coopération internationale ». Croyez-vous que nous ne devrions pas mieux dégager les conclusions qui se dégagent de nos travaux pour arriver à la coordination que nos fondateurs exigent de nous. Ne devrions-nous pas mettre nos résultats sous une forme telle qu'ils puissent profiter immédiatement aux autres sciences, surtout à celles d'application? Il me semble qu'à ce point de vue notre travail n'est pas parfait : je le répète, nous ne pouvons nous contenter d'étudier les problèmes, mais il faut classer après discussion les résultats obtenus et les mettre sous une forme pratique à la disposition des autres.

A mon avis, nous devrions non seulement mieux dégager les conclusions de nos séances, mais l'ensemble de ces conclusions devrait, au bout d'une dizaine d'années, fournir soit un guide, soit des normes, soit peut-être même une simple mise au point qui seraient profitables aux autres.

Nous nous plaignons de voir notre domaine attaqué, morcelé par des organisations de toutes espèces. Nous en parlerons longuement après cet exposé. Mais, j'en suis venu à me demander si ce n'était pas un peu notre faute et si nous ne devons pas nous frapper la poitrine. Le danger, c'est que ces organismes s'attellent à la besogne que nous avons quelque peu laissée de côté ou que nous n'avons pas fait avancer assez rapidement et qu'ils essaient de faire ce que nous n'avons pas encore fait. Ils le feront peut-être mal et le danger deviendra plus grand encore, car on en arrivera à essayer de nous imposer des guides ou des normes que nous devons peut-être combattre, trop tard d'ailleurs.

L'an dernier, au cours d'une de ces réunions internationales où l'on voulait faire un travail qui est de notre compétence, j'ai essayé, par la présentation d'une note que notre bulletin a reproduite, de montrer les dangers de l'extension que l'on voulait donner au travail, tout en revendiquant pour notre Association l'honneur de faire le travail réellement acceptable. Après la séance, un grand honnête homme qui ne m'avait pas répondu au cours de la réunion pour ne pas me faire de la peine, me prit à part. « C'est très bien ce que vous avez dit, mais dites-moi ce qu'a fait l'A.I.H.S. dans ce domaine, jusqu'à présent? Puisque vous n'avez rien à présenter, je suis bien obligé de me joindre à ceux qui veulent faire quelque chose ». Il avait raison, à ce moment-là. Mais après des débats de trois jours, ce savant se rendit cependant compte que l'organisation en question arriverait difficilement à des résultats dans le problème posé.

Puis-je par conséquent caresser l'espoir que les comités que nous avons créé pour l'étude de questions spéciales nous donnent bientôt les résultats de leur travail non plus sous forme de longues et admirables études qui constituent évidemment la première phase du travail, mais sous forme ramassée. Peut-être pourront-ils à la fin de cette Assemblée nous présenter des résolutions ou des recommandations qui constitueront le début du travail final.

Peut-être pourrions-nous, au cours de ces journées, remettre à d'autres comités l'une ou l'autre mission nouvelle : je pense notamment à ce comité de l'évaporation à la création duquel la réunion de Dijon s'est montrée favorable, sans cependant pouvoir prendre de décision.

Si nous voulons avancer, je crois qu'au cours de nos Assemblées nous devons arriver à sérier les questions et à les remettre aux mains de spécialistes avec des directives assez générales. Et puis, il faut surtout qu'entre deux Assemblées successives, on traite la question en détail, chacun des spécialistes appor-



tant sa pierre à l'édifice. Il ne faut plus que les personnes à la tête de nos comités spéciaux se sentent à peu près seules, sans collaboration appréciable.

Ces quelques considérations m'ont été suggérées en essayant de faire mon rapport sur ces comités. Il m'a semblé d'ailleurs que certains d'entre eux ont reçu, à l'occasion de cette Assemblée, des apports consistants.

6. Nous avons souvent parlé au cours de nos dernières réunions, et particulièrement à Rome et à Dijon, d'organismes qui mettent à l'étude des questions, voir même des programmes qui nous semblent être nôtres ou en tout cas voisins des nôtres. Il conviendrait que pour chacun de ces organismes, je vous dise maintenant ce qui s'est passé au cours de ces trois années, comment les questions ont évolué, quelles sont parfois les solutions en perspective.

Mais cela m'amènerait à devoir me répéter, car après cet exposé général, je serai sans doute amené, avec l'autorisation de notre Président, à faire le point de nos relations (ou parfois de notre manque de relations) avec l'O.M.M. avec le Comité des Zones Arides de l'Unesco, avec la Commission des Irrigations et du Drainage, avec l'Association d'Hydrogéologie, avec l'I.S.O., avec l'E.C.A.F.E., avec l'Association permanente des Congrès de Navigation, avec l'EGIG, avec l'Année Géophysique enfin. Je ne parle pas de l'AIHR avec laquelle une communauté de dirigeants a rendu les contacts aisés.

7. Je vous ai déjà donné quelques indications au sujet de la bibliographie en parlant de la question financière. Je n'ajouterai qu'une simple remarque : j'ai l'impression que cette bibliographie est un trésor dont la plupart n'apprécie pas la richesse. Je suis très souvent consulté par des chercheurs qui se figurent qu'un secrétaire d'Association hydraulique doit pouvoir donner toutes les explications possibles sur tous les phénomènes imaginables de cette science. Il m'arrive souvent de pouvoir répondre grâce à notre bibliographie qui, dans bien des cas, se trouve aussi entre les mains du chercheur avide de renseignements.

8. Dans le même ordre d'idées, je voudrais aborder la question du bulletin. Après une enfance difficile, il commence à se faire connaître. Personne ne doute de son utilité, mais je crois que certains voudraient en faire un simple bulletin d'information. Je voudrais défendre l'existence d'un bulletin avec partie scientifique, mais je le ferai lors de la présentation de ce point de l'ordre du jour.

9. Je ne pourrais terminer sans dire quelques mots des Symposia Darcy à Dijon. Leur succès a dépassé nos espérances, non seulement au point de vue scientifique, mais même en ne considérant que la question financière. Le succès nous a fait penser qu'une répétition, sans exagération, pourrait être aussi heureuse. Nous vous parlerons donc dans un moment d'un projet que nous soumettrons à votre appréciation.

Messieurs, j'ai été abominablement long et j'ai encore tant de choses à dire. Je termine cependant mais pas avant d'avoir remercié notre président, qui a été beaucoup plus effectif qu'il ne veut le dire. Nous pensons d'ailleurs si souvent de la même façon!

REPORT BY THE SECRETARY ON THE LIFE OF THE ASSOCIATION  
DURING THE PERIOD 1954-1957.

1— I had reckoned that my triennial report would have been reduced to modest proportions owing to the existence of the Bulletin which is meant to keep you in touch with the life of the Association, and also to the Symposia Darcy which allowed me to make contact with many of you a year ago in France.

But, when I wanted to prepare this report, I saw that I had much more to tell you since these last meetings. For a moment I asked myself whether, in growing older, I have become garrulous. It is for you to judge. For other reasons I think that it is not so and that it is the number of subjects about which I have to speak to you which has grown to proportions which, I hope, are somewhat exceptional.

2— I feel obliged to begin with a matter which has unfortunately always been, and which remains our great anxiety: the financial question. I shall therefore take the liberty of putting before you the summarised statement of our financial affairs during the period.

Expenditure		Income	
	\$		\$
1. Publications		1. Allocation from IUGG	9,941
a) Rome Proceedings, including programme, summaries, reprints, distribution.	16,740	2. UNESCO	
b) Dijon Proceedings (initial outlay)	3,459	a) for publications	1,200
c) Bibliography	1,846	b) for bibliography	1,500
2. Expenses for Symposia (including grants to participants)	2,086	c) for Symposia	2,310
Ditto, paid direct by UNESCO	1,270		1,270
3. Reimbursement of travelling expenses:		3. Sale of publication	6,085
a) for the Assembly	234	4. Bank interest	137
b) otherwise		5. Donations	245
4. Expenses of the Secretariat:		6. In hand on 1/1/54	4,674
a) typing, drawing of plans, etc.	320		
b) postage	540		
c) General (transport, customs dues, work of Commissions, etc)	542		
5. In hand on 31/12/56	143		
	\$ 27,452		\$ 27,452

Examination of the statement reveals two main points:

- a) an unhappy fact: the reduction of our cash in hand from \$ 4,764 to \$ 143
- b) a comforting item: the sales, which have grown from \$ 2,000 in the preceding period to \$ 6,085.

One sees also that printing expenses form 81 % of our outgoings. The Rome Proceedings in particular cost a noteworthy amount, but we hope that their printing on good quality paper and the reproduction of figures on a larger scale will have given every satisfaction. The number of papers presented at Rome (about 250) also necessitated a serious increase of expenditure.

But on the other hand, the almost vertical rise in our sales shows in fine that our publications are appreciated but were and still remain insufficiently known. I shall again ask from each of you an effort to help me in making them known. The rise in the amount of our sales becomes more spectacular still when one inserts the figures for the 1st January 1957 onwards: in nine months of this year we have taken in sales more than \$ 4,500. It is true that this record is mainly due to the Proceedings of the Darcy Symposia, as to whose success and high scientific value others have spoken.

3. These considerations have led me to the conclusion that, despite the serious reduction in our cash in hand, we could envisage the next triennial period in the following way:

a) continuation of our former policy as regards publications, whilst introducing however a slight reduction (25 %) in the number of free copies distributed, so as to help sales whilst reducing expenses. A second restrictive step: the reduction of the expenditure on bibliography by making it general that the printing shall be at the expense of the adherent countries.

b) a need to provide a larger margin for general expenses. I do not have to tell you how I have kept them to about 5 % of the total amount of expenditure, but I feel bound to add that it is no longer possible to continue in the same way.

Our budgetary proposals are the following: from 1/1/1957 to 31/12/1959

Expenditure	\$	Income	\$
1. Printing of publications:		1. Grant from IUGG .....	12,000
a) Toronto Proceedings (including summaries and programme) .....	15,000	2. Grant from UNESCO .....	5,000
Proceedings of Symposia (including a part of Dijon) .....	6,000	3. Sale of publications .....	12,000
c) Bulletin .....	2,000	4. Various receipts publicity, bank interest, etc.) .....	1,000
d) Bibliography .....	1,000		
E) Manual of measuring instruments .....	—		
2. Secretariat:			
a) Typing, drawing, etc. ....	500		
b) Postage, transport, etc. ....	1,500		
3. Travelling .....	750		
4. Expenses on Symposia .....	1,250		
	\$ 28,000		\$ 30,000

I would draw attention to two points:

To begin with the UNESCO grants. You know that, owing to IUGG, an agreement has been established between UNESCO and other Unions to create a Federation



of Permanent Services. It obviously follows from this that UNESCO will no longer credit IUGG with the grants that it allocates to this Federation. One can say that IUGG, taking everything into account, loses nothing thus, but it is however the case that IUGG cannot any more directly dispose of the allocation to the Permanent Services (may be \$ 22,000 in 1957) and that there remains at its disposal only about \$ 14,000 as against more than \$ 30,000 formerly. As we have no permanent service, we can only count upon a share of the \$ 14,000 and I have been given to understand that that will be a meagre one this year.

Other difficulties also present themselves, as to the grant for our bibliography which UNESCO makes but which IUSC considers ought not to be provided. It is all the more regrettable that a sister-organisation of UNESCO, believing that this grant is indeed credited to us, should think itself unable to help us. I hope however that I have succeeded in explaining the situation.

A second point in the statement of budgetary provisions on which I feel bound to insist is the question of sales. One could deem my estimate too optimistic and consider it dangerous to assume that the amount of our sales will follow a geometric progression. I would remind you that during the past eight months of the period 1957-1960, the amount of sales reached \$ 4,500; is it too much to assume \$ 12,000 for three years? Our publications are becoming known better and better and I am certain that you are going to help me to make them better known still.

4. Having at last exhausted the question of finance, I should like to speak to you rapidly about our various publications.

I have said that I hope that you were satisfied with the «Proceedings and Reports» of Rome and Dijon. I shall however willingly receive your suggestions for future publications. The question of printing them is settling down. At Rome I felt obliged to oppose a centralisation of publications in a single firm of publishers, preferring to ask you that we should remain our own publishers, and I think that experience has proved us right.

Another question: for Dijon, we succeeded in printing the papers before the meeting. This was indeed a feat, of which you may not be aware but which you will realise when you hear that I received some papers only a fortnight before the Symposia opened.

At each Assembly, I fix the times allowed for receiving firstly the summaries and then the papers. At each Assembly, I complain of the lack of discipline of many of the authors. At Rome I was told «You should not accept any papers after the date fixed, you must be severe». At the date fixed I had 40 % of the papers in my hands and I would remark that France surpassed herself in having sent all her contributions save one. Perhaps you will not believe me but amongst the laggards were, it seemed to me, those who had wished me to be most severe! There were also all the chairmen of Commissions, as well as the majority of the authors of the country to which we have been invited. Could I really have behaved severely? Gentlemen, I have accepted everything.

But, I should now like to speak seriously. This irregularity prevents printing before the meeting and the Symposia at Dijon have shown us all how advantageous such early printing can be. The delays prevent even the framing of a suitable programme, without reckoning what they can do in causing difficulties for our friends in sister-Associations.

5. I apologise for venturing to lecture you; I know besides that it is useless. I quit the matter to mention another, much more important.

I have thought that I could say that specialists appreciate our publications more and more and that we could conclude from that, that we could be proud of our work. Before doing so, I would re-read with you article 1 of our statutes.

The aims of the Association are:

- a) to encourage and develop the study of hydrology
- b) to stimulate, facilitate and co-ordinate research into and studies of hydrological problems which necessitate international co-operation
- c) to secure the discussion, comparison and publication of the results of research.

It seems to me that our Association has done what was due to attain the first and third aims and even a part of the second. But I ask myself if it has done all that it could to «co-ordinate research into and studies of hydrological problems which necessitate international co-operation». Do you think that we would not do better to draw the conclusions which evolve from our work, in order to achieve the co-ordination that our founders require of us? Ought we not to put our results in a form that they can at once benefit other sciences, especially the applied ones?

It seems to me that from this point of view our work is not perfect: I repeat, we ought not to content ourselves with studying problems, but must after discussion of them classify the results obtained and put them in a practical form at the service of others.

In my opinion, not only ought we to draw conclusions from our sessions, but the synthesis of these conclusions ought at the end of ten years to furnish maybe guiding rules, maybe norms, maybe perhaps even a simple focussing of a matter which would be profitable to others.

We complain at seeing our domain attacked, divided amongst organisations of all kinds. We shall talk of it at length after this statement. But I have come to asking myself if it is not a little our own fault and if we ought not to chastise ourselves. The danger is that these organisations may take for themselves jobs that we left a bit to one side or that we have not got on with sufficiently quickly, and in which they will try to do what we have not yet done. They may perhaps do it badly and the danger will then become greater still, for we may then have attempts to impose upon us guiding rules or norms that we ought perhaps to combat, if it is not already too late.

During the past year, in the course of one of the international gatherings where they wished to do some work which was within our competence, I tried, in tendering a Note which our Bulletin has reproduced, to show the dangers of the extension which they contemplated for the work, whilst claiming for our Association the honour of rendering the work truly acceptable. After the session, a great gentleman who had not replied to me in the course of the meeting, to avoid making it difficult for me, took me aside. «What you have said is all very well, but, tell me, what have the IASH done in this field up to the present? Since you have nothing to report, I am obliged to side with those who wish to do something». He was justified, at that moment. But after three days of debate, however, this learned man came to the conclusion that the organisation in question would have difficulty in arriving at results in the problem set.

May I then cherish the hope that the committees which we have created for the study of special questions will give us very soon the results of their labours, not in the form of lengthy and admirable studies which evidently form the first phase of the task, but in a compact manner? Perhaps at the end of this Assembly they could present us with resolutions or recommendations which will form the beginning of the final phase.

We could perhaps in the course of these next days remit to other committees

one new task or another: I think particularly of the committee on evaporation, to the creation of which the Dijon meeting showed itself favorable, without having the power to take a decision.

If we wish to progress, I think that during our Assemblies we ought to manage to place our questions in order and remit them to the hands of specialists with suitably wide directives. Then, it is necessary especially that between two successive Assemblies the question shall be dealt with in detail, each specialist adding his stone to the edifice. Those at the heads of our special committees must not be allowed to feel themselves almost alone, without appreciable collaboration.

These several considerations have suggested themselves to me whilst trying to make my report on these committees. It has further seemed to me that certain of them have obtained, on the occasion of this Assembly, firm confirmation.

6. We have often spoken in the course of our last meetings, especially those at Rome and Dijon, of organisations which place under study questions or even frame programmes which seem to us to be ours or in any case near to ours. It would be proper that for each of these organisations I should tell you now what has happened in the course of these three years, how questions have evolved and what in some cases are in perspective the solutions.

But that would lead to my having to repeat myself, for after this general statement I shall without doubt be required with the sanction of our President, to outline our relations (or sometimes lack of relations) with the World Meteorological Organisation, the Arid Zones Committee of UNESCO, the Commission of Irrigation and Drainage, the Association of Hydrogeology, the International Standards Organisation, the Economic Commission for Asia and the Far East, the Permanent International Association of Navigation Congresses, E.G.I.G. and finally the Geophysical Year. I do not mention the International Association of Hydraulic Research, contact with which is facilitated by common ground at management level.

7. I have already given you some information on the subject of bibliography, when discussing the financial question. I shall add only a simple remark: I have the impression that this bibliography is a treasure whose richness is not appreciated by the majority. I am very often consulted by researchers who suppose that the secretary of hydrological association ought to be able to give all possible explanations of all imaginable phenomena of this science. I am often able to reply, thanks to our bibliography, which in many cases is to be found also in the hands of the researcher who is greedy for information.

8. In the same connection I should like to broach the question of the Bulletin. After a difficult childhood it is beginning to make itself known. No one doubts its utility, but I think that some would like to have it made simply a news-bulletin. I should like to defend the existence of a bulletin with a scientific portion, but I shall do so when this item of the agenda comes forward.

9. I could not end without saying a few words about the Symposia Darcy at Dijon. Their success exceeded our expectations, not only from the scientific point of view but even from the financial angle alone. Success has made us think that a repetition could, without exaggeration, be as happy an event. We shall tell you then in a moment of another project.

Gentlemen, I have been abominably long and I have still many things to say. I shall end now, but not before having thanked our President, who has been much more effective than he wishes to be said. On the other hand, we so often think the same way.



## 5. EXPOSE DE DIVERSES QUESTIONS ET DISCUSSION.

a. Le Secrétaire expose rapidement la situation des relations avec l'*Organisation Météorologique Mondiale*. Cet exposé a été fait à Dijon en 1956 devant le Conseil et on peut se reporter au compte-rendu de cette séance du Conseil dans le Bulletin n° 3. La question a déjà été longuement discutée au cours de l'Assemblée de Toronto au cours des deux réunions du Conseil tenues le mardi 3 et le mercredi 4 septembre 1957. Elle sera reprise au cours d'une nouvelle séance du Conseil.

b. Au sujet du *Comité des Zones Arides de l'Unesco*, le Secrétaire demande aux membres de bien vouloir se reporter aux larges comptes-rendus qu'il a publiés dans le bulletin. Il attire particulièrement l'attention sur le fait que le Comité des Zones Arides a présenté un projet qui a été admis comme un des projets majeurs de l'Unesco et qui bénéficie de larges crédits. Certains membres pourraient être intéressés par les travaux et études demandés. Le Secrétaire attire aussi l'attention sur le fait que le crédit longtemps accordé par l'Unesco pour la bibliographie hydrologique ne sera plus alloué à notre Association par suite d'une décision de l'I.C.S.U., bien que l'Unesco ait donné son accord pour son attribution. La présence du Secrétaire au sein du groupe de travail de l'Organisation Météorologique Mondiale a cependant permis d'attirer l'attention de cette Organisation sur la valeur de notre bibliographie et une promesse d'aide financière a été faite.

### c. Association des Hydrogéologues.

M. Schoeller nous apporte le salut de cette Association qui a été transformée à la suite du Congrès de Géologie de Mexico l'an dernier.

Le Secrétaire se demande si la création de l'Association nouvelle ne risque pas de disperser un peu plus l'effort scientifique accompli dans le domaine des Eaux Souterraines. Il pense que notre Commission spécialisée dans cette question étend déjà son activité au domaine de la nouvelle Association. M. Schoeller fait observer que la structure de l'U.G.G.I. et par suite de notre Association limite fortement le nombre de personnes pouvant participer à nos travaux.

La question sera examinée par le Bureau en tenant compte de cette observation de M. Schoeller.

d. Le Secrétaire aborde alors la question de l'ISO. Il a représenté l'Association à une réunion d'un comité de l'International Standards Organisation (ISO) à Munich en 1956, comité chargé d'arriver à une standardisation des mesures des débits des cours d'eau. Dans le bulletin n° 3, le Secrétaire a donné un compte-rendu très développé de ce qui s'est passé à cette réunion. Il attire l'attention sur les dangers de cette initiative et estime que si quelque chose doit être fait dans ce domaine (il en doute très fort), le travail devrait en tout cas être fait par notre Association. L'Assemblée marque son accord à ce sujet.

e. La constitution du Comité de l'E.G.I.G. (Expédition Glaciologique Internationale au Groenland) par de nombreux membres de notre Commission des Neiges et des Glaces est alors rappelée. La participation financière de notre Association se limitera à la publication des travaux scientifiques glaciologiques ou hydrologiques et le patronage accordé par l'Association après consultation des membres du Conseil se ramène à cette publication ainsi qu'à l'aide morale donnée à l'entreprise en reconnaissant son caractère scientifique.

f. Il est dit quelques mots de l'ECAFE qui accomplit dans l'Est Asiatique un

travail en relation avec notre activité et il est admis que le contact sera gardé avec cette Association, de même qu'avec l'Association des Congrès de Navigation, avec la Commission de Drainage et d'Irrigation, avec l'Association Internationale de Recherches hydrauliques, surtout de façon à veiller à ce que notre champ d'activité ne soit pas inutilement grignoté.

g. Le Président reprenant le projet de budget présenté par le Secrétaire fait remarquer qu'à son avis les dépenses prévues pour le Secrétariat sont insuffisantes et qu'il faut prévoir une dépense supplémentaire de 3000 \$ pour apporter une aide substantielle au Secrétaire. On pourrait s'efforcer d'augmenter d'autant les subventions. L'Assemblée marque son accord sur ce point.

h. Le Président appelle l'attention de l'Assemblée sur la question des désignations des membres du Bureau de l'Association et des Commission et Comités. Il estime nécessaire l'établissement d'un Comité des Nominations et propose pour en faire partie: M. Friedrich, président, MM. de Quervain, Schoeller, Linsley Adopté par l'assemblée.

i. La question du bulletin soulevée par le Secrétaire sera discutée par un comité composé de MM. Allard, Langbein, Serra et Tison qui fera rapport au Conseil.

j. M. Dulum (U.S.A. Geological Survey) présente alors avec l'appui de M. Sayre une proposition d'enquête mondiale sur la détermination des quantités de matières dissoutes qui arrivent à la mer. Dans l'esprit des auteurs de la proposition, l'enquête serait faite dans le cadre de l'Année Géophysique.

Le Président et le Secrétaire montrent l'impossibilité de faire rentrer cette enquête dans l'A.G.I., mais le Conseil étudiera la question, l'Assemblée ayant marqué son accord sur le principe.

k. Au sujet de l'Année Géophysique, le Secrétaire rappelle que l'A.I.H.S. avait préparé à Rome un programme comprenant une partie relative aux Glaces et Neiges, une autre s'occupant de l'évaporation et enfin elle avait demandé des mesures des matériaux solides amenés à la mer dans le plus grand nombre possible de fleuves. Une résolution dans ce sens avait été transmise à l'Union. Cette résolution ne fut malheureusement pas soumise à la réunion du comité de l'A.G.I. qui suivit l'Assemblée de Rome. M. Wordie put cependant présenter et faire admettre le programme glaciologique et les démarches du Secrétaire de l'Association ayant été soutenues par l'Organisation Météorologique mondiale, pour la question de l'évaporation, cet autre point du programme fut adopté par le Comité de l'A.G.I. Par contre, en dépit de multiples démarches du Secrétaire, deux pays seulement répondirent favorablement à la demande de faire des mesures et d'envoyer des résultats pour les matériaux solides transportés.

l. La partie du rapport du Secrétaire relative aux symposia passés et futurs a retenu l'attention de l'Assemblée qui a admis le principe d'un Symposium à organiser par la Commission des Neiges et des Glaces en 1958 et d'un autre sur «Eaux et Régions Boisées» en 1959. L'Allemagne s'est déjà offerte pour l'organisation de ce dernier symposium.

M. Krul reprend une idée qu'il a développée le jour précédent à l'occasion de la discussion du rapport de M. Law au symposium sur l'influence de la végétation sur le cycle hydrologique: notre Association devrait organiser un symposium sur les lysimètres. Le symposium de 1959 devrait voir son sujet quelque peu étendu et s'occuper des lysimètres.

Interrogé par le Secrétaire, M. Friedrich se montre favorable à cette idée qui est adoptée.

Le Président appelle l'attention des Commissions sur la nécessité de présenter les textes des recommandations et des questions pour 1960, proposées par elle, avant la dernière réunion du Conseil.

La séance est levée à 12.30 h.

*Annexe au point 5 paragraphe j. du compte-rendu précédent.*

TEXTE DE LA PROPOSITION REMISE  
PAR MM. DURUM ET SAYRE  
TEXT OF THE PROPOSALS OF  
Mr DURUM AND Mr SAYRE

Scientists engaged in certain studies in the field of geochemistry and hydrology have been hampered for many years by a lack of adequate quantitative data on chemical substances dissolved in water from the land surfaces of the world. These data are becoming increasingly important in newer technical concepts such as total water budget, and quantitative geochemical studies. You may recall that several world-wide compilations of dissolved-solids carried by rivers appear in the literature, such as that by Clarke, in 1925 (The data of geochemistry: U.S. Geological Survey Bulletin 770, 5th edition). However, many of the published data are largely estimates and have been used with considerable uncertainty.

In recent months there have been informal statements of interest by some scientists for study, concurrent with International Geophysical Year, to update quantitative values for runoff of dissolved chemical substance. It is the purpose of this inquiry to foster interest and invite your comments and suggestions as to planning and participation in this important world-wide program.

Basically such a study will consist of sampling of largest rivers of the world for chemical analysis and, where practicable, the measurement of stream flow at or near the point of sampling, so as to represent the principal runoff from land surfaces of the world. From a practical viewpoint the question then arises, what streams, where should they be sampled, and how often?

Preliminary study has shown that about 65 large rivers of the world each having an average discharge exceeding 20,000 cubic feet per second ( $566 \times 10^3$  liters per second) comprise up to 75 percent of the total runoff to the oceans. If primary efforts are directed toward sampling and measurement of stream flow, where practicable, for these larger streams, then the magnitude of the program is reduced to a practical level. The values obtained from sampling of the stream above tide water approximately four times, over a range of discharge during the year, will provide a basis for calculation of total loads of dissolved solids as well as considerable information on concentrations of major and minor dissolved elements. Many supplementary estimates will be required to arrive at total world runoff, but the important values will be made available to many fields of interest.

In order to facilitate this program the United States Geological Survey would be pleased to act in the capacity of coordinator. Although some general guide-lines and standardization in this program are desirable, we propose that the coordinating countries conduct their phases of the program independently, both in the field and laboratory phases.



The first step in successful inauguration of this program appears to be an early appraisal on your part as follows.

1. To determine the feasibility of stream sampling and possible stream measurement at the appropriate river stations by your agency at a frequency of about four times during the IGY year. Perhaps for some proposed sites sufficient current data are already available, therefore no additional sampling will be necessary.

2. That a scientist is available and will be responsible on a voluntary basis for organising the necessary party to perpetuate the program and maintain liaison with the U. S. Geological Survey on a continuing basis for the duration of the study.

3. To determine if laboratory facilities are available locally to assist in the program.

4. That internal regulations relating to shipment of sampling containers to and from the appropriate nation desiring assistance in analysis can be cleared.

5. That local references or literature on hydrology of the pertinent stream can be made available to supplement the sampling program.

For those countries desiring assistance from the United States Geological Survey, in analysis of samples, it is anticipated that shipment by air express of 2-liter (size polyethylene sampling containers in a fiber shipping case can begin in the latter part of 1957 and will continue until the end of 1958 or when various ranges of stream discharge have been sampled. Filled containers will be returned promptly by air express to Washington, D. C., U. S. A., and analyzed with minimum delay. It is proposed that duplicate 2-liter samples will be collected at or near the midpoint of flow of the stream. Where practicable, it is suggested that a minimum of four samples should be obtained during the period to represent quality over a range of discharge. Of these, one set of samples will be collected at each of high flow and low flow and preferably two sets of samples in the area of median flow or in the 50 percent range of stream-flow frequency. Turbid samples preferably should be filtered through fine filter paper at the time of collection.

Stream-flow data at the time of sampling are desirable by whatever means is available. When a measurement cannot be made, but channel cross section and profile maps are available, staff gage readings with reference to datum plane will be quite helpful. If none of the above are feasible, then estimates of stream flow at the time of sampling based upon approximate velocity, depth, and width of the stream channel will be useful.

A brief literature search has brought to light some chemical quality and stream-flow data for rivers to be sampled.

Tables 1 and 2, attached, give preliminary compilation of available stream-flow data. It is anticipated that as a result of this study additional quantitative stream-flow data will be made available and revisions prepared accordingly.

For those samples sent to the United States conventional Geological Survey methods will be used for determination of principal cations and anions and other common constituents. See attached table 3. Determination of minor elements will be made spectrographically. It is proposed that data then be coordinated and compiled. For example, it may be feasible to compute dissolved solids and individual constituent loads from rating-curve methods where sufficient data are at hand. For streams where only one or two analyses are obtainable by reason of remote location, then hydrologic characteristics of the stream, and correlation with other streams of similar chemical character, could be used in extrapolating data. Results of analyses should be made available promptly to organizations assisting in the program together with a summary evaluation report of observations, analyses, and calculations.

Many matters relating to the above remain to be solved. Therefore, we will appreciate an early reply as to your organization's interest in this project together with suggestions, and appraisal of internal matters that will affect this worthy program.

TABLE I  
World distribution of runoff and estimates of flows to be sampled  
Computations from data in U.S.G.S. Circular 52, P. 4

Continental area	Estimated mean annual flow to ocean (in thousands cfs)	Percent world runoff	Estimated mean annual flow of rivers proposed for sampling (in thousands cfs)	Percent continental discharge	Percent world discharge
Europe	2,644	6.6	917	35	2.3
Asia	7,769	19.4	6,160	49	15.4
Malayan Archipelago	4,697	11.6			
Africa	6,606	16.5	2,380	36	5.9
Australia	662	1.7			
No. America	7,194	17.9	2,252	31	5.6
So. America	8,991	22.4	5,642	63	14.1
Greenland and Canadian Archipelago	784	2.0			
Interior areas	747	1.9			
Total	40,094	100	17,351	43	43

TABLE II  
Tentative list of rivers for sampling — average flow exceeding 20,000 cfs.

River	Country	Drainage Area (thousands of sq. mis.)	Disch. (thousands of cfs)	Dissolved solids runoff Est. Tons/yr. per sq. mi.	Total Tons
EUROPE					
Danube	Romania	315	225		
Dvina	U.S.S.R.	140	120		
Pechora	U.S.S.R.	126	145		
Rhine	Netherlands	56	76		
Rhone	France	37	59		
Po	Italy	27	55		
Dnepr	U.S.S.R.	177	59		
Vistula	Poland	76	38		
Elba	Germany	52	24		
Garonne	France	22	24		
Glomma	Norway	15	24		
Ebro	Spain	32	22		
Mezen	U.S.S.R.	21	22		
Don	U.S.S.R.	86	24		
Total		1,182	917		

TABLE II

*Tentative list of rivers for sampling — average flow exceeding 20,000 cfs.*

River	Country	Drainage Area (thousands of sq. mis.)	Disch. (thousands of cfs)	Dissolved solids runoff	
				Est. Tons/yr. per sq. mi.	Total Tons
ASIA					
Yangtze	China	750	750		
Bramaputra	E. Pakistan	361	700		
Ganges	India	409	660		
Yenisei	U.S.S.R.	1,000	614		
Lena	U.S.S.R.	936	547		
Irrawaddy	Burma	166	479		
Ob	U.S.S.R.	959	441		
Mekong	Fr. Indochina	313	420		
Amur	U.S.S.R.	711	388		
Indus	Pakistan	358	193		
Kolyma	U.S.S.R.	249	134		
Sankai	China	46	127		
(Yellow)					
Hwang Ho	China	260	116		
Neva	U.S.S.R.	109	92		
Pyasina	U.S.S.R.	75	87		
Gadivari	India	132	78		
Shatt-el Arab	Iraq	175	70		
(Tigris, Euphrates)					
Kistna	U.S.S.R.	119	69		
Salween	Burma	108	53		
Yana	U.S.S.R.	105	38		
Kamchatka	U.S.S.R.	17	32		
Pei	China	57	24		
Indigirka	U.S.S.R.	68	24		
Karun	Iraq	20	24		
Total		7,503	6,160		
AFRICA					
Congo	Belg. C.				
	Fr. Eq. Af.	1,500	1,600		
Niger	Nigeria	216	328		
Zambezi	Mozambique	500	250		
Orange	So. Africa	320	102		
Nile	Egypt	1,150	100		
Total		3,686	2,380		



TABLE II (Cont'd)  
*Tentative list of rivers for sampling—Average flow exceeding 20,000 cfs*

River	Country	Drainage Area (thousands of sq. mis.)	Disch. (thousands of cfs)	Dissolved solids runoff	
				Est. Tons/yr. per sq. mi.	Total Tons
NORTH AMERICA					
Mississippi	U.S.A.	1,244	650		
St. Lawrence	U.S.A.	498	500		
Columbia	U.S.A.	259	275		
Yukon	Canada	360	180		
Frazer	Canada	86	94		
Sacramento	U.S.A.	26	29		
Mobile	U.S.A.	42	57		
Colorado	U.S.A.	246	22		
Hudson	U.S.A.	13	22		
Mackenzie	Canada	660	260		
Nelson	Canada	450	125		
Susquehenna	U.S.A.	27	38		
Total		3,911	2,252		
SOUTH AMERICA					
Amazon	Brazil	2,231	3,600		
Orinoco	Venezuela	340	600		
Parana	Argentina	890	526		
Tocantins	Brazil	350	360		
Magdalena	Colombia	93	265		
Urugual	(Argentina & Uruguay)	90	136		
Sao Francisco	Brazil	260	100		
Bio Bio	Chile	79	28		
Valdivia	Chile	32	27		
Total		4,365	5,642		

TABLE III

*Analysis by Geological Survey, United States Department of the Interior  
(parts per million)*

---

Date of collection.....

---

Silica ( $\text{SiO}_2$ ).....

Iron (Fe).....

Manganese (Mn).....

Calcium (Ca).....

Magnesium (Mg).....

Sodium (Na).....

Potassium (K).....

Bicarbonate ( $\text{HCO}_3$ ).....

Carbonate ( $\text{CO}_3$ ).....

Sulfate ( $\text{SO}_4$ ).....

Chloride (Cl).....

Fluoride (F).....

Nitrate ( $\text{NO}_3$ ).....

Dissolved solids

    Calculated .....

    Residue on evaporation at  $180^\circ\text{C}$ .

Hardness as  $\text{CaCO}_3$ .....

Non carbonate hardness as  $\text{CaCO}_3$ .

Alkalinity as  $\text{CaCO}_3$ .....

Specific conductance

    (microohms at  $25^\circ\text{C}$ ).....

pH .....

Color .....

---

# SEMIQUANTITATIVE SPECTROGRAPHIC ANALYSIS

Report No.	For	Date
Lot No.	Spec. Lab. No.	Plate No.
		Refer.

## Notation:

Figures are reported to the nearest number in the series 10, 3, 1, .3 etc., in percent.  
 Eighty percent of the reported results may be expected to agree with the results of quantitative methods

Symbols used are: — = not looked for

O = looked for but not detected (see attached table of sensitivities)

M = major constituent-greater than 10%

< with number = below number shown; here standard sensitivities do not apply

Field No.

Lab. No.

Si

Al

Fe

Mg

Ca

Na

K

Ti

P

Mn

Ag

As

Au

B

Ba

Be

Bi

Cd

Ce

Co

Cr

Cs

Cu

Dy

Er

Eu

F

Ga

Gd

Ge



Field No.

Lab. No.

Hf

Hg

Ho

In

Ir

La

Li

Lu

Mo

Nb

Nd

Ni

Os

Pb

Pd

Pr

Pt

Rb

Re

Rh

Ru

Sb

Sc

Sn

Sr

Sm

Ta

Tb

Te

Th

Tl

Tm

U

V

W

Y

Yb

Zn

Zr

---

## SELECTED REFERENCES

- Central Division of Hydrometrological Service, 1946, Average runoff and its distribution through the years in the territory of the U.S.S.R. Leningrad — Moscow. Contains data on average flows at 2,360 gaging stations and average flows for 108 rivers.
- Civil Engineering, March 1955.
- CLARK, F. W., 1925, The data of geochemistry: *U.S. Geological Survey Bulletin* 770, 5th edition.
- FOX, Sir Cyril S., Water, A study of its properties, its constitution, its circulation on the earth and its utilization by man. Philosophical Library, Inc., New York, 1952.
- P. 33 — gives 20 largest rivers, length, drainage area, and annual discharge in cubic miles.
- P. 34. Annual avg. disch. = 2,500 + cu. miles (for 20 largest rivers).
- P. 34. Annual avg. disch. = 5,000 cu. miles (fair computation for total runoff from all rivers flowing into the oceans and seas).
- P. 64. Estimated runoff to ocean = 6,000 cu. miles (as measured by discharge into oceans and seas).
- LANG, J. D., article in *Water and Water Engineering*, November, 1946, London, England.
- LANGBEIN, W. B., and other, 1949, Annual runoff in the United States: *U.S. Geological Survey Circ.* 52.
- L'VOVICH, M. I., 1945, Elements of the water regime of the rivers of the earth: State Hydrological Institute, *Hydrology of the land*, Ser. 4, No. 18, Moscow (In Russian)
- U.S. Geological Survey, 1921, Water power of the world; Part II of World atlas of commercial geology.

## DEUXIÈME ASSEMBLÉE GÉNÉRALE TORONTO

Jeudi 12/9/57 à 15 h. 15.

Etaient présents: G. TISON, Belgium; J. TH. THIJSE, Netherlands; THOMAS W. ROBINSON, U.S.A.; G. E. HARBECK, jr., U.S.A.; A. NELSON SAYRE, U.S.A.; W. ALLARD, Britain; P. BAIRD, U.K.; W. FRIEDRICH, Germany; A. VOLKER, Holland; S. KOLUPAILA, U.S.A.; H. KURON, Germany; H. KOHNKE, U.S.A.; W. RICHTER, Germany; F. K. NORING, Germany; G. NAHRGANG, Germany; F. R. KELLER, Germany; J.A. RODIER, France; F. FOURNIER, France; L. SERRA, France; R.H. CLARK, Canada; CARTER, Canada; L. GHERARDELLI, Italy; W. STICHLING, Canada; HARRY F. BLANEY, U.S.A.; R.K. LINSLEY, U.S.A.; R.N. WILSON, U.S.A.; H.E. SCHWARZ, U.S.A.; E. BEN OSMAN, Tunisia; A. VIBERT, France; M. SCHOLLER, France; M. GOLDSCHMIDT, Israel; J. LAMBOR, Poland; I. ABDEL MAGEED, Sudan; M. PARDÉ, France; C.L. WALKER, U.S.A.; W.B. LANGBEIN, U.S.A.; P.O. WOLF, U.K.; L.J. TISON, A.J.H.S.

### ORDRE DU JOUR

1. Propositions du Comité des Nominations et du Conseil.
2. Recommandations et résolutions.
3. Sujets à traiter pour 1960.
4. Symposia 1958 et 1959.
5. Bulletin.
6. Relations avec les autres organisations.

### *Point 1*

Le Président présente la liste proposée des Président, Vice-Présidents et Secrétaire de l'Association ainsi que celles relatives aux divers Comités et Commissions. Les propositions sont adoptées par acclamations. Les listes en question sont reproduites ci-après. De plus, le président M Thijssse rend hommage à M. De Marchi, vice-président sortant, qui s'est toujours dévoué à l'association. Il le propose comme Président d'honneur de l'Association. Adopté par acclamations. Le Secrétaire fait remarquer que le Président sortant J. Th. Thijssse a également rendu les plus grands services à l'Association et il propose de l'associer à M. De Marchi et d'en faire également un Président d'honneur. Adopté par l'Assemblée.

### *Point 2 et Point 3*

Les recommandations, résolutions et sujets à traiter pour 1960 proposés par le Conseil sont également adoptés sans observations.

### *Point 4 et Point 5*

Il en est de même des propositions de Symposia et de celles relatives au Bulletin. Le Secrétaire se mettra en rapport avec la Commission des Neiges et des Glaces d'une part et avec M. Friedrich d'autre part pour l'organisation des Symposia.

### *Point 6*

A l'intervention de M. Schoeller il est revenu sur la question de l'Association d'Hydrogéologie. Le Secrétaire s'efforcera de trouver une solution satisfaisante.

Le Président insiste une dernière fois sur la nécessité de la collaboration avec l'O.M.M. La séance est levée.



A. I. H. S.

1957-1960

# COMPOSITION DES COMITÉS DE L'ASSOCIATION ET DE SES COMMISSIONS

## ASSOCIATION

*Président* : M. WILM (U. S. A.)

*Vice-Présidents* : M. ALLARD (G. B.)

M. TONINI D. (Italie)

M. FRIEDRICH (Allemagne)

*Secrétaire* : M. L. J. TISON (Belgique).

## NEIGES ET GLACES

*Président* : M. FINSTERWALDER

*Vice-Présidents* : M. BAUER (France)

M. NAKAYA (Japon)

*Secrétaire* : M. BAIRD (Canada).

## EAUX SOUTERRAINES

*Président* : M. KRUL (Pays Bas)

*Vice-Présidents* : M. MAXEY (U. S. A.)

M. BOGOMOLOV (U. R. S. S.)

*Secrétaire* : M. BUCHAN (U. K.)

## EAUX DE SURFACE

*Président* : M. SERRA (France)

*Vice-Présidents* : M. VOLKER (Pays-Bas)

M. LAMBOR (Pologne)

*Secrétaire* : M. KASSER (Suisse).

## EROSION CONTINENTALE

*Président* : M. TIXERONT (Tunisie)

*Vice-Présidents* : M. KURON (Allemagne)

M. SIMAIKA (Egypte)

*Secrétaire* : M. MADDOCK (U. S. A.)

## COMITÉ DE LA STANDARDISATION DES CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES DES COURS D'EAU

M. W. FRIEDRICH

M. A. VOLKER

M. L. SERRA

M. WALSER

M. R. K. LINSLEY

M. W. LANGBEIN

M. G. TISON

## COMITÉ DES PRÉCIPITATIONS

M. SERRA

## COMITÉ DES INSTRUMENTS

M. SCHIJF

## COMITÉ DE L'ÉVAPORATION ET DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION

M. EARL HARBECK

M. FRIEDRICH

M. VOLKER

M. G. TISON Jr.

## COMITÉ DE L'ÉVALUATION DES MATIÈRES DISSOUTES

M. DURUM (U. S. A.)

M. L. TISON (Belgique)

M. AVSIUK (U. R. S. S.)

M. VILELA (Argentine)

M. CHATERji (Indes)

# RÉSOLUTIONS ET RECOMMANDATIONS PRISES A TORONTO

## RÉSOLUTION 1

L'A. I. H. S. décide de créer un Comité temporaire de l'évaporation et de l'évapotranspiration.

L'étude de semblables sujets ne peut être envisagée qu'avec la collaboration de l'A. I. M. et même de l'A. I. O. P.

L'A. I. H. S. demande à ces deux Associations de bien vouloir désigner leurs représentants à ce Comité.

## RÉSOLUTION 2

L'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique décide de tenir un Symposium sur le sujet suivant :

### PHYSIQUE DU MOUVEMENT DE LA GLACE

Ce Symposium se tiendra soit à OBERGURGL en Autriche, soit à CHAMONIX en France, dans la première quinzaine de septembre 1958.

L'Association demande à l'U. G. G. I. de bien vouloir lui accorder un soutien financier.

## RÉSOLUTION 3

L'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique décide de tenir un Symposium sur le sujet suivant :

### EAUX ET RÉGIONS BOISÉES ET LYSIMÈTRES

Ce Symposium se tiendra en Allemagne dans la première quinzaine de septembre 1959.

L'association demande à l'U. G. G. I. de bien vouloir lui accorder un soutien financier.

## RECOMMENDATION 4 ON WORLD WIDE RUNOFF OF DISSOLVED CHEMICAL SUBSTANCES

Whereas the International Association of Scientific Hydrology in the Assemblée Generale de Rome 1954, recommended a programme of observations in the field of Hydrology, additional recommendations are made herewith.



The International Association is cognizant of the lack of adequate quantitative data on chemical substances dissolved in water from the land surfaces on the world, and that such data are becoming increasingly important in total water budget and quantitative geochemical studies.

Although the International Association is not represented in some areas of the world, nevertheless, it has through its National Committees and other agencies the means and potential for acquiring hydrological data in many parts of the world as well as the resources for conducting the study, for analyzing the data, and for the publications resulting therefrom.

Therefore the Association recommends, on the basis of preliminary study, that about 65 large rivers of the world, each having an average discharge exceeding 20,000 cubic feet per second (566 cubic meters per second) be selected for sampling for chemical analysis. Runoff from these streams comprises up to 75 percent of the total runoff to the oceans from land surfaces, therefore values obtained from sampling the streams above tide water, approximately four times over a range of discharge during one year, will provide valuable quantitative information on concentrations of major and minor elements and total runoff of dissolved solids to the ocean.

The Association is hopeful that sampling at some streams will commence in 1958, and that in some instances it may be practicable to extend the sampling program beyond one year in order to increase the number of observations.

## RECOMMENDATION 5 HYDROGEOLOGICAL MAPS

At the Toronto Conference during two sessions dealing with Underground Waters, the question of hydrogeological maps and the results obtained therein have aroused a great deal of interest. These results have permitted the realization of an exhibition of maps from Germany, the United States and the Netherlands. Although unprepared in advance, this exhibition has been very successful; it would have been even more successful had it been possible to exhibit the results obtained in Morocco. The results in Tunisia although not materialized by the presentation of maps, have been equally appreciated.

It has been decided to prepare a more extensive exhibition for the next General Assembly.

An exhibition of land-erosion maps has also been decided.

A l'Assemblée de Toronto, au cours des deux séances consacrées par la Commissions des Eaux souterraines à la question des cartes hydrogéologiques, les résultats obtenus dans ce domaine ont provoqué le plus grand intérêt. Les résultats obtenus ont permis de réaliser une exposition de cartes d'Allemagne, des Etats-Unis, des Pays-Bas. Bien que non préparée, cette exposition a connue un grand succès; le succès aurait été plus considérable encore si les résultats obtenus au Maroc avaient pu être exposés. Les réalisations en Tunisie, bien que non matérialisées par la présentation de cartes ont également été appréciées.

Il a été décidé que pour la prochaine Assemblée Générale, une exposition plus étendue serait préparée.

Une exposition de cartes d'érosion continentale a aussi été décidée.

# SUJETS A TRAITER POUR L'ASSEMBLÉE DE 1960

## A) COMMISSION DES NEIGES ET DES GLACES

Cette commission laisse toute liberté à ses membres pour le choix des sujets.

## B) COMMISSION DES EAUX SOUTERRAINES

1) Méthodes pour la présentation des données géo-hydrologiques sous forme de cartes. Les cartes et en particulier celles qui seront basées sur des méthodes nouvelles pourront être exposées.

2) Méthodes pour l'évaluation des ressources en eaux souterraines.

3) Matières radio-actives :

a) Emploi expérimental pour l'étude des eaux souterraines.

b) Hydrologie de l'évacuation de ces matières dans les couches perméables.

4) Intrusion d'eau salée dans les nappes aquifères dans les zones côtières et dans les zones voisines des estuaires.

## C) COMMISSION DES EAUX DE SURFACE

### 1) *Etude des bas débits*

#### a) Les étiages

— Etiages moyens annuels

— Liaison des étiages avec :

les périodes sans pluie

la nature géologique des sols.

— Valeur des coefficients d'écoulement pendant les périodes d'étiages.

#### b) Les sécheresses

— Caractéristiques — Causes.

— Fréquence d'apparition — Prévision.

— Répartition spatiale des périodes de sécheresse (à large échelle englobant plusieurs régions ou pays).

### 2) *Etude de l'écoulement provenant de la couverture neigeuse*

— Ecoulement en hiver.

— Ecoulement en période de fonte.

### 3) *Les fleuves et rivières à marées*

## D) COMMISSION D'EROSION CONTINENTALE

### 1. Débit solide des cours d'eau.

2. Erosion et chimie du ruissellement.
3. Mécanisme de l'érosion, avec étude en particulier des effets de la fonte des neiges.
4. Influence de l'utilisation et de l'aménagement des terres sur l'érosion.

#### E) COMITÉ DES PRÉCIPITATIONS

- 1) *Observations et mesures*
  - a) Influence aérodynamiques de l'environnement.  
Choix de l'emplacement optimum d'un pluviomètre.
  - b) Mesures des précipitations en montagne et spécialement sur les pentes.  
Mesure des précipitations neigeuses.
- 2) *Variabilité des précipitations*
  - a) Répartition spatiale des précipitations. — Corrélations. — Analyse de cas particuliers et aspects statistiques à des échelles différentes (10 m — 1 Km — plusieurs dizaines de Km).  
Représentativité des réseaux d'observations pluviométriques.
  - b) Variabilité temporelle des précipitations (forme des hyetogrammes en liaison avec les conditions météorologiques).
- 3) *Méthodes de mesures par radar*  
Comparaison avec les méthodes classiques.

#### F) COMITÉ D'EVAPORATION ET D'EVAPOTRANSPIRATION

1. Evaporation en provenance d'une surface d'eau :
  - a) Suppression de l'évaporation par l'utilisation de films monomoléculaires.
  - b) Essais nouveaux pour déterminer l'évaporation d'un réservoir à l'aide des méthodes de la balance de l'énergie et du transfert des masses.
  - c) Etudes de la relation entre l'évaporation des « pans » et celle des réservoirs.
- 2) *Evapotranspiration* :
  - a) Evaluation critique des avantages et des inconvénients des recherches à l'aide de lysimètres.
  - b) Essais de détermination de l'évapotranspiration à l'aide des méthodes de la balance de l'énergie et du transfert des masses.
  - c) Etudes du bilan hydrologique de bassins hydrologiques pour de courtes périodes de temps.
  - d) Etudes des pertes par évapotranspiration dans les régions arides.
  - e) Etudes de l'action de la canalisation de rivières sur les pertes par évaporation et évapotranspiration.

#### G) COMITÉ DES INSTRUMENTS

M. Schijf aidé de MM. Langbein et Walser recueilleront les renseignements pour la rédaction du Manuel.

#### H) COMITÉ DE STANDARDISATION DES CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES

Une circulaire sera envoyée ultérieurement.

# SUBJECTS FOR THE NEXT ASSEMBLY

## A) COMMISSION OF SNOW AND ICE

No set questions will be posed for 1960.

## B) COMMISSION OF SUBTERRANEAN WATERS

- 1) Methods of presenting geohydrological data in map form. Maps especially those based on new methods may be exhibited.
- 2) Methods of estimating ground-water resources.
- 3) Radioactive substances:
  - a) their experimental use in ground-water studies and
  - b) the hydrology of their disposal into pervious strata.
- 4) Saline infiltration into aquifers in coastal and estuarine areas.

## C) SURFACE WATERS COMMISSION

### 1) *Study of Low Discharges*

#### a) Dry-weather discharges

- Mean Annual dry-weather discharges
- Relation of dry-weather discharges to:
  - periods without rainfall
  - geological character of soils
- Values of run-off coefficients during periods of dry-weather discharges.

#### b) Droughts

- Characteristics — Causes.
- Frequency of occurrence — Forecasting.
- Spatial distribution of drought periods (on a large scale covering several regions or countries).

### 2) *Study of Run off Resulting from Snow-cover*

- Run-off in winter.
- Run-off during period of snow-melt.

### 3) *Tidal Portions of Streams and Rivers*

## D) COMMISSION OF LAND EROSION

1. Sediment yield of streams.
2. Erosion and chemistry of runoff.
3. Mechanism of erosion with special reference to the effects of snow melt.
4. Influence of land use and management on erosion.



## E) COMMITTEE ON PRECIPITATIONS

### 1) *Measurement*

- a) Aerodynamical study.  
Determination of the optimal place.
- b) Measures in mountains.

### 2) *Variability of Precipitations*

- a) in the Space.
- b) in the time.

### 3) *Measurement with Radar*

## F) COMMITTEE ON EVAPORATION AND EVAPOTRANSPIRATION

### 1) *Evaporation from a free water surface:*

- a) Suppression of evaporation by the use of a monomolecular films.
  - b) Further tests of the energy budget and mass transfer methods for the determination of reservoir evaporation.
  - c) Studies of the relationship between pan and reservoir evaporation.

### 2) *Evapotranspiration:*

- a) A critical evaluation of the advantages and disadvantages of lysimeter research.
- b) Tests of the energy budget and mass transfer methods for the determination of evapotranspiration.
- c) Studies of the water balance of catchment areas for short periods of time.
- d) Studies of evapotranspiration losses in arid regions.
- e) Studies of the effects of canalization of rivers upon evaporation and evapotranspiration losses.

## G) COMMITTEE OF INSTRUMENTS

Mr. Schijf with Mr. Langbein and Mr. Walser will collect inquiries.

## H) COMMITTEE OF STANDARDISATION OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS

A circular letter will be issued.

# COMMISSION DE L'EROSION CONTINENTALE

## RAPPORT DU PRESIDENT

C'est grâce à l'initiative de M. W. C. LOWDERMELK que fut constitué en 1948 à Oslo, un comité provisoire d'étude de l'érosion, qui fut transformé en commission à Rome en 1954.

En fait, à l'Assemblée de Bruxelles et à celle de Rome, furent présentées 30 communications émanant de 14 nations. Pour la présente assemblée, nous avons reçu 36 communications émanant de 17 nations. Cette progression semble justifier la transformation du Comité en Commission, mais le nombre de communications n'est pas à lui seul un indice certain de l'efficacité du travail.

Je vais vous faire part des réflexions qui résultent de l'expérience des trois dernières années, en me référant tout d'abord au rapport présenté à Rome par M. CARL BROWN et moi-même.

Ce rapport définissait le champ d'action de la Commission, son programme d'études et quelques points d'organisation.

Il y a peu à dire sur le champ d'action de la Commission, si ce n'est pour attirer l'attention sur deux domaines dont on avait peu parlé à la dernière assemblée : l'érosion glaciaire et l'érosion par dissolution. Si l'érosion glaciaire ne semble pas actuellement au premier plan des préoccupations de la Commission Neiges et Glaces, l'étude de l'érosion par dissolution présente par contre un intérêt certain qui a été marqué par une proposition de M. SAYRE à la présente assemblée.

## LE PROGRAMME D'ETUDES DE ROME

Le programme d'études de Rome a été précisé par les trois questions qui vous ont été proposées. Il n'a pas été possible de répartir toutes les communications reçues entre ces trois questions, mais on peut y trouver des éléments de réponse.

Très présomptueusement, j'avais prévu que les communications pourraient être réparties entre trois rapporteurs généraux: MM. FROSINI, GOTTSCHALK et SIMAIKA qui avaient accepté de se charger de ce travail. Ainsi, les rapports particuliers auraient pu être distribués in extenso avec les rapports généraux. On aurait pu passer dès la première réunion à la lecture des rapports généraux et à la discussion des rapports particuliers.

Ceci n'a pas été possible, parce que les rapports particuliers ne sont pas parvenus à temps, et parce qu'il était difficile d'adopter pour la Commission d'Erosion une règle différente de celle adoptée par l'ensemble des Commissions.

Je vous proposerais de désigner trois rapporteurs pour tirer après la session les conclusions générales relatives aux trois questions, au vu de la documentation réunie à Bruxelles, à Rome et à Toronto.

Quoi qu'il en soit, je me permets d'attirer votre attention sur les progrès importants réalisés depuis la dernière session dans l'étude de l'érosion. Une revue de ces progrès montrera le chemin qui reste à accomplir.

## LES PROGRES REALISES

1°) Pour la première fois, votre Association se trouvera en possession de données sur les territoires de l'U.R.S.S. et sur de vastes régions de l'Afrique Tropicale. Il existe cependant des régions immenses pour lesquelles on manque de renseignements: Régions équatoriales, régions d'Asie, d'Amérique latine, etc... Ces régions contiennent les plus grands fleuves de la terre, et l'érosion est dans beaucoup d'entre elles un problème majeur. Il faut souhaiter que ces lacunes se combleront le plus rapidement possible.

2°) Les mesures régulières de teneur des eaux des cours d'eau en matières dissoutes et en matières en suspension ont été entreprises dans un nombre de pays de plus en plus grand. Les renseignements sont cependant insuffisants pour certains des plus grands fleuves du monde. Les méthodes de mesures employées sont différentes et d'une précision variable. Nous aurions souhaité au congrès de Rome fixer des normes de précision minimum. Cela n'a pas été fait. Nous demanderons au Comité des Instruments de mesure d'étudier cette question à son prochain programme.

3°) Les premières méthodes de prévision de l'érosion sont apparues au Congrès de Rome. Les principales communications étaient celles des U.S.A. relatives à la prévision de l'érosion du sol et du débit solide des cours d'eau. Le Congrès de Toronto enregistre les perfectionnements réalisés depuis trois ans. Le résultat signalé est très important, mais actuellement les méthodes de prévision ne sont valables que pour les régions expérimentées. Il faut arriver à étendre ces méthodes à des régions de plus en plus vastes, et même à des régions sur lesquelles on n'a pas expérimenté.

4°) On peut tirer des rapports présentés une vue d'ensemble des méthodes de recherches, et de l'organisation dans les différents pays. Les méthodes sont analogues. Outre les rapports présentés, je suis en possession de renseignements concernant le Canada, le Guatemala, la Colombie par des lettres dont M. GOTTSCHALK m'a envoyé copie, et pour l'Irak par des résumés de communications que m'a envoyés M. SIMAIKA. Ces documents seront portés à votre connaissance par communication directe, ou par publication au bulletin d'information, ou aux comptes-rendus.

5°) L'étude de l'érosion du sol sur planches expérimentales a été intensifiée dans de nombreux pays. Ces méthodes sont susceptibles, dans les conditions naturelles, de donner des résultats rapides dans les climats assez pluvieux, mais il n'en est pas de même dans les zones arides et semi-arides où cependant l'érosion est souvent un problème urgent. Par exemple, une série de planches expérimentales mises en exploitation en Tunisie depuis trois ans n'a vu que trois cas d'érosion. Il convient donc:

- de développer au maximum l'expérimentation en faisant varier artificiellement la pluie et les autres facteurs;

- de développer les échanges de renseignements, ce qui permettra aux zones arides de profiter des résultats acquis en zones humides.

6°) On commence à avoir de divers côtés des précisions sur l'influence de l'agriculture, des forêts et de l'élevage sur les terres, non seulement à l'échelle de la planche expérimentale mais encore à l'échelle du bassin versant. L'importance de ce résultat est soulignée par le fait que cette influence a été mise à l'ordre du jour de la prochaine réunion du Comité consultatif de l'UNESCO à Karachi. Il permet d'autre part d'aborder avec succès un autre problème important: celui de savoir s'il est efficace et économique, de compléter les grands ouvrages de mise en valeur: grands barrages, etc... par des travaux d'aménagement systématiques des bassins. C'est ainsi, par exemple, que dans la mise en valeur du périmètre de la Basse Medjerdhi en Tunisie (100.000 ha) nous avons donné une égale urgence aux travaux de lutte contre l'érosion des bassins versants et aux travaux d'assainissement, lutte contre les inondations et érosions.

## QUESTIONS D'ORGANISATION

Le rapport présenté à Rome demandait la désignation d'un correspondant dans chaque pays ayant un intérêt significatif dans les problèmes d'érosion. En fait, il m'a été assez facile de trouver des correspondants dans les pays qui ont présenté des communications, mais il est certain que le programme de votre commission n'a pas été porté dans les différents pays à la connaissance de toutes les organisations intérieures. Il sera nécessaire, dès le début de supprimer le vide et connaître pour chaque pays la désignation du correspondant et la liste des organisations intérieures.

Le rapport prévoyait aussi l'établissement de liaisons avec les autres commissions de l'Association d'hydrologie, les autres Associations de l'U.G.G.I. et les autres organisations internationales intéressées.

La liaison avec les autres commissions est assurée convenablement. En fait, beaucoup d'entre nous s'efforcent déjà de suivre les travaux de toutes nos commissions. On peut améliorer la liaison par le choix de sujets communs de discussion.

Aucune liaison n'a été prise avec les autres associations et cependant l'érosion intéresse l'océanographie, la tectonique, la gravimétrie et la géodésie.

Si des liaisons n'ont pas encore été assurées, c'est que, à mon sens, nous ne pouvons pas encore procurer aux associations intéressées des renseignements assez précis. On devrait cependant pouvoir à l'avenir leur apporter une contribution utile à condition que nous nous préoccupions dès à présent de problèmes généraux, par exemple du bilan général de l'érosion et de transport des sédiments et des sels.

Les organisations internationales intéressées à l'érosion sont par exemple:

- l'Association de la science du sol
- l'Association de géologie
- l'Association de géographie
- les Associations d'ingénieurs et principalement l'association des sols et fondations.

Nous pouvons considérer comme assurée la liaison avec la première de ces associations dont font partie plusieurs de nos collègues parmi les plus actifs. Des contacts ont été pris avec l'Association de géographie. Ces contacts devront être améliorés. Les organisations en question devront être tenues au courant de nos travaux et réciproquement, dans tout ce qui touche l'érosion

## CONCLUSION

Nous pouvons considérer en définitive que des progrès importants ont été faits depuis les dernières années dans la connaissance de l'érosion et dans sa prévision. Mais une immense tâche reste à accomplir dont j'ai essayé de déterminer les points les plus urgents.

Parmi les questions à mettre à l'ordre du jour de notre prochaine session, je vous proposerai de maintenir comme question générale les aspects quantitatifs de l'érosion, notamment en ce qui concerne le bilan général, parce que cette question est à la base de nos connaissances.

Je vous proposerai ensuite de donner une certaine priorité à l'érosion des sols, en raison de son importance pour les agriculteurs et les ingénieurs, qui a été pour beaucoup dans la constitution de notre commission.

Je vous demande de me présenter des suggestions à ce sujet de façon à définir notre travail futur avant de nous séparer.



# COMPTES-RENDUS ET RAPPORTS DE LA COMMISSION D'ÉROSION CONTINENTALE

SÉANCE DU 9 SEPTEMBRE 1957

*Président:* Monsieur J. TIXERONT, Président de la Commission d'érosion continentale.

*Secrétaire:* M. F. FOURNIER, France

*Présents:* MM. ABDEL MAGEED, Soudan; ALLARD, Angleterre; ANDERSON, Canada; AYERS, Canada; BASSEY, Canada; BEN OSMAN, Tunisie; BOUGHNER, Canada; CHAPMANN, Canada; COFFEY, Canada; CROSS, Canada; GEIGER, Etats-Unis; GEZE, France; GHERARDELLI, Italie; HAMILTON, Etats-Unis; HARBECK, Etats-Unis; HARNEY, Etats-Unis; HORE, Canada; KELLER, Allemagne; KOHLER, Etats-Unis; KOHNKE, Etats-Unis; LANGBEIN, Etats-Unis; LINSLEY, Etats-Unis; NYBRANT, Suède; RODIER, France; ROSE, Canada; SAYRE, Etats-Unis; SCHWARZ, Etats-Unis; SMITH, Etats-Unis; STICHLING, Canada; TISON G., Belgique; TISON L. J., Belgique; VEN TE CHOW, Etats-Unis; WILSON, Etats-Unis; WITHERSPOON, Canada; WOLF, Angleterre.

M. TIXERONT ouvre la séance à 14 heures et prononce son adresse présidentielle (le texte de cette adresse est donné en Annexe 1). Il demande aux membres présents de réfléchir aux sujets qui pourraient constituer le programme de travail de la commission lors de sa prochaine réunion dans trois ans.

On procède alors à la lecture des rapports présentés qui donnent lieu aux discussions. La présentation des rapports est faite dans l'ordre suivant:

- 1.— Rapport de M. F. FOURNIER: « Méthodes employées pour l'étude de l'érosion du sol dans les Territoires Français d'Outre-Mer ».
- 2.— Rapport de M. F. FOURNIER: « Les facteurs de l'érosion du sol dans le domaine intertropical ».

M. RODIER ajoute les observations suivantes aux deux communications de M. FOURNIER qui ont été présentées successivement. Sur parcelles expérimentales, l'érosion est forte. Au contraire sur les grands fleuves, Bénoué, Niger, Chari, Congo, les transports solides sont faibles: 200 g. à 100 gr. par m<sup>3</sup> et même moins. La cause principale réside dans la très faible proportion de terres nues ou cultivées par rapport aux terres couvertes de végétation. Or celle-ci freine considérablement le ruissellement et l'érosion. Nous avons pu le vérifier dans les bassins situés au Nord des régions étudiées par M. FOURNIER. Dans ces régions, la première période climatique a disparu; la seconde très brutale, provoque une forte érosion. Mais, dès que la végétation s'est développée, le ruissellement devient très faible (troisième et quatrième période). En outre, les transports solides des petits affluents ne parviennent pas toujours au fleuve. Ils se déposent souvent dans les marécages ou les lagunes voisins du fleuve principal.

M. FOURNIER précise qu'une observation de même ordre peut être faite lorsque l'on considère l'effet du splash et l'érosion en parcelles expérimentales. Le premier phénomène provoque un déplacement de terre bien plus considérable que celui mesuré dans la seconde condition. La quantité de terre déplacée et entraînée diminue depuis l'effet du splash jusqu'aux transports solides d'un grand fleuve.

M. GEZE souligne l'importance du facteur « substratum géologique » dans l'intensité de l'érosion du sol. Par exemple, cette érosion paraît presque nulle sur les fortes pentes cultivées du Mont Cameroun (où il s'agit de tufs et de scories volcaniques extrêmement perméables), malgré des précipitations considérables (plus de 10 mètres par an). Au contraire sur les plateaux granito-gneissiques voisins couverts d'argiles latéritiques, quoique les chutes d'eau soient plus faibles, l'érosion paraît très forte, même sur pentes insignifiantes.

Il conviendrait absolument de préciser ces conditions pour rendre valables les comparaisons entre les chiffres donnés par divers auteurs pour des régions et des pentes différentes.

M. FOURNIER signale que l'importance du facteur « sol » apparaît dans les tableaux de sa communication sur les valeurs d'érosion en parcelles expérimentales dans les Territoires Français d'Outre-Mer.

3.— Rapport de M. D. D. SMITH : « Factors affecting surface erosion from rain fall and their evaluation.

M. A. KOHLER pose les questions suivantes : Is season taken into account when deriving antecedent precipitation data or are all data for the same season? No attempt was made to use joint function until the final equation given,  $A = CSLKP$ . Why did you switch from additive functions to this type? I should think that joint functions should be tried for some of the desired relations, possibly by graphical correlations.

M. SMITH répond: Antecedent precipitation index was the summation of rain-falls for a definite period prior to the storm in question with reductions for the number of non-rain days. Plate of reduction was adjusted for seasons, however the function as computed was not considered entirely satisfactory.

The equation  $A = CSLKP$  has been used for 10-12 years for calculating field soil loss in tons per acre per year. The C term is in tons per acre per year. All other terms on the right are dimensionless. The additional equation is for computing soil loss in tons per acre for individual storms and a follow soil condition. It is the type generally used for multiple correlation by the method of least squares. A curvilinear relation using logarithms could have been used. Mixing of additive and joint functions is not possible by this method of analysis except as shown by the  $X_i$  term which I have referred to as an interaction term — the product of  $X_e$  times maximum 30 minutes intensity of the storm in question.

4.— Rapport de M. H. KURON: « Critical rainfall intensities and soil erosion in Germany ».

5.— Rapport de MM. H. KURON et L. JUNG: « The influence of water erosion on the surface layer of some soils », présenté par M. H. KURON.

6.— Rapport de M. H. SCHREIBER: « The influence of soil structure and surface condition on run off and erosion » présenté par M. H. KURON.

7.— Rapport de MM. H. KURON et J. STEINMETZ: « On the whirling effect of rain drops as one cause of soil erosion » présenté par M. H. KURON.

A la suite de la présentation de ces quatre rapports sans interruption, comme l'avait proposé M. TIXERONT, président de la séance, M. FOURNIER pose les deux questions suivantes:

Quels sont les types de sol (types génétiques) étudiés?

Par quelle méthode la stabilité de la structure du sol a-t-elle été analysée?

M. KURON répond que les sols étudiés sont des sols bruns faiblement lessivés et que l'analyse de la stabilité de la structure du sol a été faite par tamisage sous l'eau.

M. FOURNIER fait remarquer en outre qu'en ce qui concerne l'érodibilité du sol, il est bien certain que les sols sableux et sablolimoneux sont souvent les plus érodibles. En zone tropicale cela est particulièrement vrai. En climat peu agressif, il faut cependant introduire une notion de seuil d'action climatique. Par exemple; un sol argileux à structure peu stable (cela dépend de la nature de l'argile) peut, quand il est saturé et quand sa structure est détruite, laisser place à une érosion bien plus considérable que celle qui peut survenir sur un sol sableux.

M. TIXERONT rappelle aux membres présents qu'il leur a été demandé de réfléchir aux sujets du programme de travail de la commission pour sa prochaine réunion dans trois ans.

La séance est levée à 17 h.

### SÉANCE DU 10 SEPTEMBRE 1957

*Président:* M. A.F. GEIGER      Etats-Unis

*Secrétaire:* M. F. FOURNIER      France

*Présents:* MM. GHERARDELLI, Italie; KOHNKE, Etats-Unis; KURON, Allemagne; ROBERTSON, Canada; RODIER, France; SCHNEIDER, Etats-Unis; SMITH, Etats-Unis; TISON (G.), Belgique; TISON L., Belgique; TIXERONT, Tunisie.

M. A.F. GEIGER ouvre la séance à 9 heures et l'on passe immédiatement à la présentation des rapports inscrits à l'ordre du jour.

1.— Rapport de M. F. FOURNIER: « Valeurs d'érosion du sol en champs expérimentaux dans les Territoires Français d'Outre-Mer ».

M. TIXERONT pose les deux questions suivantes:

— Les cultures arbustives pratiquées sur les planches expérimentales sont-elles faites avec sol nu ou avec couverture végétale intercalaire?

— Les mesures de débit solide des fleuves sont indiquées pour des bassins versants très étendus. Y a-t-il des mesures régulières sur des cours d'eau dont le bassin a une superficie faible ou moyenne?

A la première question, M. FOURNIER répond que les valeurs d'érosion inscrites par lui au tableau pour le court exposé de sa communication se réfèrent aux cultures arbustives sur sol nu. Mais dans le texte lui-même sont indiquées des valeurs d'érosion se rapportant à des cultures arbustives avec plantes de couverture intercalaires.

En réponse à la seconde question, M. RODIER précise un certain nombre de points. Nous n'avons pas de stations de mesure de transports solides au pied des montagnes. D'ailleurs la pente de la plupart des grands bassins est faible. Nous avons commencé l'étude de ces transports sur bassins expérimentaux, mais nous ne pouvons pas effectuer ces études sur des surfaces de plus de 2 ou 3 km<sup>2</sup> pour des raisons d'ordre expérimental. Les résultats trouvés pour le Chari sont particuliers: la moitié est du bassin n'apporte que peu d'éléments solides (ils se déposent dans d'immenses marécages); le quart sud, couvert d'une végétation assez dense, n'apporte pas grand chose non plus. Ceux du Logone correspondraient à une moyenne; ceux du Mangoky à un maximum.

- 2.— Rapport de M. L.C. GOTTSCHALK: « Predicting erosion and sediment yields » présenté par M.A.F. GEIGER.

M. KOHNKE fait sur ce rapport l'observation suivante: It seems that land treatment might have considerable effect on the control of Channel erosion in the case of small watersheds (smaller than 10 square miles), especially during short heavy rain storms as they usually occur in the summer.

- 3.— Rapport de M. H. MENSCHING: « Soil erosion and formation of haugh-loam in Germany » présenté par M. H. KURON.
- 4.— Rapport de M. L. HEMPEL: « Soil erosion and water runoff on open ground and underneath wood » présenté par M. H. KURON.
- 5.— Rapport de M. H. MOSSBRÜGGER: « Les éléments de charriage et les matières en suspension des fleuves de montagne, en relation avec l'importance du cours d'eau » présenté par M. H. KURON.
- 6.— Rapport de M. G. TISON: « Considérations sur la variation de la sédimentation dans un fleuve à marée ».
- 7.— Rapport de M. P. FROSINI: « L'érosion du sol de certains bassins des cours d'eau » présenté par M. L. GHERARDELLI.
- 8.— Rapport de M. A.F. GEIGER: « Sediment yields from watersheds in U.S.A. ».

Par suite de l'heure tardive, ces six derniers rapports ne donnent pas matière à discussion et M. A.F. GEIGER lève la séance à 12 heures.

#### SEANCE DU 13 SEPTEMBRE 1957

*Président:* M. J. TIXERONT      Tunisie  
*Secrétaire:* M. F. FOURNIER      France  
*Présents:* MM. ABDEL MAGEED, Soudan; BEN OSMAN, Tunisie; NYBRANT, Suède; PARDE, France; TISON G., Belgique.

M. J. TIXERONT ouvre la séance à 14 heures et les rapports suivants sont présentés parmi ceux inscrits à l'ordre du jour:

- 1.— Rapport de MM. J. TIXERONT et E. BERKALOFF: « Evaluation de l'érosion en Tunisie par la méthode hydrologique ».
- 2.— Rapport de M. E. WALSER: « Mesures récentes de dépôts d'alluvions dans certains deltas ».
- 3.— Rapport de M. T. ONODERA: « National report on erosion in Japan », présenté par M. J. TIXERONT.
- 4.— Rapport de M. M. PARDE: « Quelques valeurs nouvelles expérimentales des transports solides de fond ».

Aucune discussion ne s'engage sur ces quatre rapports et M. J. TIXERONT clôt cette dernière séance de la Commission d'érosion continentale de l'A.I.H.S. à 15 heures 30.



# EINFLUSS DER BODENSTRUKTUR UND DES OBERFLÄCHENZUSTANDES AUF ABFLUSS UND ABTRAG (THE INFLUENCE OF SOIL STRUCTURE AND SURFACE CONDITION ON RUNOFF AND EROSION)

H. SCHREIBER. Giessen

## SUMMARY

The influence of soil structure and surface condition on runoff and erosion could be observed in experiments on the effect of synthetic «soil conditioners» as stabilizing agents.

Erosion measurements on small plots on a silt loam and on a very stony debris soil have shown, that soil and water losses are effectively lowered by the production of a waterstable aggregation and a rough surface of soil.

On the other hand soil loss per unit of runoff, i.e. the «relative erosion density» (g/Ltr), gets higher with better aggregation of the surface layer. Therefore, with increasing intensity and duration of rain the differences in soil loss from plots with good structure as compared to those with a compacted and crusted surface gradually decrease.

This is greatly caused by raindrop splash. In the case of loose, but stable crumbs on the soil surface the kinetic energy of the falling raindrops is immediately transformed into soil transportation, while on compact soils energy is mostly consumed in detaching fine soil particles. On small plots the amount of soil loss is highly influenced by the portion of splashed soil.

The portion of soil lost by splash is considerable only in the upper part of a slope, while in the lower part much of the raindrop energy is consumed by resplashing the moved soil. Downslope the increasing thickness of surface water layer also can protect the soil from direct impact of raindrops. On the other hand the transport by flowing water becomes here more important. Therefore on large sloping areas increasing quantity and energy of surface flow has a greater soil detaching effect than on small plots.

It was also found, that a good structured rough surface not only suppresses the erosion of the soil as a whole but also favours the fixation of the finely grained portion, the colloidal soil fraction (clay and humus).

Von 1953 bis 1955 wurde auf zwei abtragsgefährdeten Weinbergböden im Rheingau die Wirkung von Bodenverbesserern auf den Umfang der Wassererosion an Hängen untersucht. Da mit diesen Mitteln eine weitgehende Stabilisierung eines einmal geschaffenen günstigen Strukturzustandes erreicht wird, bleibt der Boden ständig höchst wasseraufnahmefähig, und Abfluss und Abtrag gehen dementsprechend stark zurück. Neben dem Nachweis dieser vorteilhaften Wirkung der Bodenverbesserer — worüber an anderer Stelle ausführlich berichtet wurde <sup>(1)</sup> — konnten durch die Messungen wie durch Beobachtungen einige besondere Beziehungen zwischen den unterschiedlichen Erosionsbedingungen auf behandelten und unbehandelten Böden und dem jeweiligen Erosionsausmass gefunden werden, die für den Abtragungsvorgang von gekrümelten lockeren und von zerschlämmten dichten Ackerflächen von allgemeiner Bedeutung sind.

## Versuchsanlage.

Die Messungen von Bodenabtrag und Wasserabfluss wurden auf einem schluffigen Lösslehm Boden bei Hattenheim und auf einem sehr steinreichen, flachgründigen

Quarzschuttboden nahe Rüdesheim durchgeführt. Beide Böden unterschieden sich nicht nur durch ihre mechanische Zusammensetzung und den Kalkgehalt (Tab. 1), sondern vor allem auch durch ihre Hanglage. So besass die Meßstelle Hattenheim ein Gefälle von 17%, die Meßstelle Rüdesheim ein solches von 40%.

Die von Unkraut ständig frei gehaltenen und gegen Zufluss von Oberflächenwasser geschützten Abflussparzellen hatten eine Grösse von 5 qm ( $1 \times 5$  m). Das von den Parzellen abfliessende Wasser lief über ein Abflussblech in die in den Boden eingelassenen Auffangeimer; Abflussblech und Eimer waren überdacht. Der auf den Blechen sich absetzende Bodenrest wurde bei Ermittlung des Abflusses mit in die Eimer gespült.

TAB. 1

*Mechanische Zusammensetzung der Versuchsböden, Kalk- und Humusgehalt.*

Hattenheim		Rüdesheim
Korngrösse mm	Anteil	
>20		34,3
20 —5		17,3
5 —2		9,2
<2		39,2 %
2 —0,2	11,5 %	27,6 %
0,2 —0,06	12,2	17,2
0,06—0,02	35,2	16,8
0,02—0,002	22,4	20,2
<0,002	18,7	18,2
CaCO <sub>3</sub> %	11,7	0,5
Humus %	3,0	2,9
pH		7,6

Die Bodenverbesserungsmittel wurden in die oberen 5 cm der zuvor gut gekrümelten Parzellen gleichmässig eingearbeitet. Zur Anwendung kamen das Polyacrylat Kapokril «Bayer» und «Flotal», ein Ferriammonalaun mit organischem Träger (Torf). Aus Tabelle 2 geht hervor, wann und in welcher Menge die Böden mit den einzelnen Präparaten behandelt wurden.

#### *Versuchsergebnisse.*

Unter Verzicht auf die Wiedergabe einer grossen Anzahl einzelner Messwerte kann die Wirkung der Bodenverbesserung und also der Einfluß einer lockeren und wasserbeständigen Bodenkrümelung auf das Erosionsausmass durch das jeweilige Gesamtergebnis der in verschiedenen Versuchsjahren durchgeführten Einzelmessungen von Abfluss und Abtrag wiedergegeben werden (Tab. 2).

Die Tabelle vermittelt den allgemeinen Eindruck, dass Abfluss und Abtrag von den gekrümelten Parzellen stets niedriger waren als von den leicht zerschlämbaren unbehandelten Parzellen. Dabei kann die Verschiedenartigkeit der angeführten Zahlen nicht überraschen, da die Höhe der Erosionsverluste wesentlich bedingt ist durch die in den einzelnen Versuchsjahren herrschenden unterschiedlichen Niederschlagsverhältnisse wie durch den jeweils massgebenden Feuchtigkeitszustand des

Bodens, worauf hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll. Da durch die zur Unkrautbekämpfung während eines Jahres gelegentlich notwendige oberflächliche Lockerung aller Parzellen ein wiederholter weitgehender Strukturangleich zwischen diesen hergestellt wird, geben die Jahresdurchschnittszahlen der Tabelle die möglichen Abtrags- und Abflussunterschiede insofern nur ungenügend wieder, als sich die positive Wirkung einer beständigen Bodenkrümelung erst nach längerer ungestörter Bodenlagerung besonders hervorhebt.

TAB. 2  
*Gesamtabfluss und -abtrag während der Versuchsjahre.*

	1953		1954		1955	
	Abfl. %	Abtr. kg/ha	Abfl. %	Abtr. kg/ha	Abfl. %	Abtr. kg/ha
<b>Hattenheim</b>						
100 g/qm Kapokril			0,5	244	5,5	4733
200 g/qm Kapokril	0,1	222	0,3	241	2,9	2766
300 g/qm Flotal			0,5	203	6,4	4033
Unbehandelt	4,5	2762	1,8	456	7,2	8104
<b>Rüdesheim</b>						
200 g/qm Kapokril			2,3	800	1,5	546
Unbehandelt			5,1	1634	6,6	2817

Die Bedeutung einer wasserstabilen Aggregation und einer rauhen Bodenoberfläche für die Einschränkung der Boden- und Wasserverluste an Hängen kann anschaulich auch durch die Bestimmung des «Wirkungsfaktors» wiedergegeben werden. Dieser ist der reziproke Wert der relativen Abfluss- und Abtragszahlen, bezogen auf die jeweilige stark zerschlämmte unbehandelte Parzelle, deren Messwerte gleich 1 gesetzt sind. Der Wirkungsfaktor ist also umso grösser, je günstiger die Wirkung der Strukturverbesserung ist (Tab. 3).

TAB. 3  
*Wirkungsfaktoren.*

	Wirkungsfaktor = $\frac{\text{Unbehandelte Parzelle}}{\text{Behandelte Parzelle}}$					
	Abfl.	Abtr.	Abfl.	Abtr.	Abfl.	Abtr.
	1953		1954		1955	
Hattenheim						
100 g/qm Kapokril			3,6	1,9	1,3	1,7
200 g/qm Kapokril	32,7	12,5	5,8	1,9	2,5	2,9
300 g/qm Flotal			3,8	2,3	1,1	2,0
Unbehandelt	1	1	1	1	1	1
Rüdesheim						
200 g/qm Kapokril			2,2	2,0	4,4	5,2
Unbehandelt			1	1	1	1

Die Messungsergebnisse beweisen somit, dass durch den stabilisierenden Einfluss der Bodenverbesserer auf die Bodenkrümel die Einsickerung der Niederschläge gefördert wird und die Verluste durch Abfluss und Abtrag dementsprechend stark zurückgehen.

Aus der Gegenüberstellung der Wirkungsfaktoren ergibt sich jedoch gerade für die ersten beiden Versuchsjahre (1953 und 1954) in Hattenheim, dass die durch Strukturverbesserung erzielte Einschränkung des Wasserabflusses nicht auch eine entsprechend starke Minderung des Bodenabtrags zur Folge hatte. Es blieb deshalb zu prüfen, ob der Abtrag in einfacher Beziehung zum relativen Abfluss steht, wozu die Berechnung der «relativen Abtragsdichte» dienen konnte, die ein Mass für die von der gleichen Abflussmenge mitgeführte Bodenmenge (g/Ltr.) gibt.

In Übereinstimmung mit der visuellen Beurteilung der Abtragsflächen ergeben die in Tabelle 4 aufgeführten Abtragsdichten, dass die relative Beladung des Abflusswassers mit Boden dann vergleichsweise hoch ist, wenn eine besonders lockere Krümelung der Bodenoberfläche vorliegt. Hingegen nimmt die Abtragsdichte ab, wenn die Rauheit der Oberfläche verschwindet, die Aggregate also im festgefügtten Verband des Bodens sich befinden (Hattenheim 1955) oder wenn durch hohen Stein- und Grusanteil die unterschiedliche Rauheit behandelter und unbehandelter Flächen überdeckt wird, wie dies beim Rüdesheimer Boden der Fall ist.

TAB. 4  
*Die relative Abtragsdichte*

	Abtragsdichte g/Ltr		
	1953	1954	1955
<b>Hattenheim</b>			
100 g/qm Kapokril		19	31
200 g/qm Kapokril	78	26	35
300 g/qm Flotal		15	27
Unbehandelt	30	9	41
<b>Rüdesheim</b>			
200 g/qm Kapokril		16	13
Unbehandelt		15	15

Bevor auf die Ursache dieser gesteigerten Abtragsdichte auf den gekrümelten Parzellen näher eingegangen wird, sei durch die Ergebnisse von Wasserstabilitätsanalysen, wie sie im Jahre 1953 für den Hattenheimer Boden durchgeführt wurden, die beachtliche Wasserfestigkeit und Grösse der Aggregate des verbesserten Bodens veranschaulicht (Tab. 5). Die Gegenwart dieser beständigen grossen Aggregate bestimmt die Lockerheit und Rauheit des behandelten Bodens, während die Instabilität der unbehandelten Aggregate eine schnelle Verdichtung und Verkrustung der Vergleichsparzelle zur Folge hat. Wie durch die Werte angedeutet wird und auch durch andere Versuche bestätigt werden konnte (<sup>1</sup>), geht jedoch auch die Krümelung der zunächst strukturstabilen Parzellen mit der Zeit langsam zurück, da gerade die stabilisierten grossen Aggregate durch rein mechanische Zerstörung und durch die Wirkung des Regens allmählich in kleinere stabile Bruchstücke zerfallen



und somit zu einer innigeren Verzahnung und Verklebung des Bodens führen. Diese allgemeine Tendenz dürfte deshalb nicht unmassgeblich die abweichenden Abtragsbedingungen in Hattenheim im Jahre 1955 beeinflusst haben.

Die Erscheinung der erhöhten Abtragsdichte auf krümeligen Parzellen ist eng Verbunden mit der Prallwirkung der auffallenden Regentropfen. Dazu ist eine Beobachtung aufschlussreich, die immer wieder nach Abflüssen gemacht werden konnte. Während nämlich bei den Parzellen mit instabilem Boden sich in den Auffangeimern nach Abfluss eine trübe Bodensuspension befand, stand in den Eimern der Parzellen mit wasserbeständiger Krümelung klares Abflusswasser über geringen Mengen

TAB. 5

*Wasserstabilitätsanalysen Hattenheim 1953*

Fraktion  mm	% wasserstabile Aggregate			
	4.7.		24.11.	
	Unbehandelt	200 g/qm Kapokril	Unbehandelt	200 g/qm Kapokril
3 — 2	4,0	22,8	5,6	17,2
2 — 1	6,8	33,6	10,0	29,6
1 — 0,5	4,8	15,6	5,2	14,4
0,5 — 0,25	6,0	8,8	5,2	9,6
> 0,25	21,6	80,8	26,0	70,8

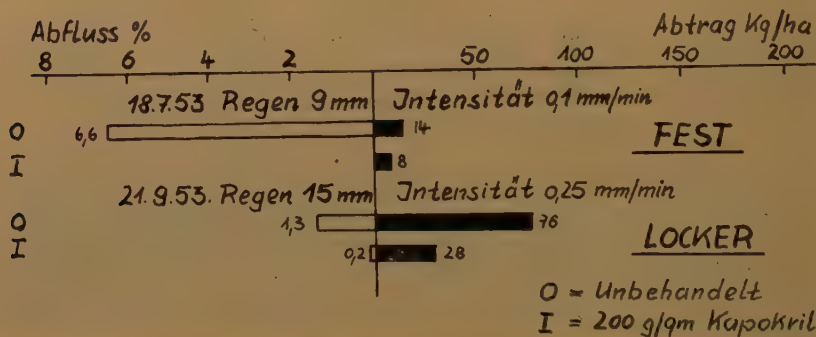
krümeligen Bodensatzes. Auf den überdachten Abflussblechen dieser Parzellen aber befand sich immer auffallend mehr Boden — meist stabile grosse Aggregate — als auf den Blechen der unbehandelten Parzellen. Allein dieser starke Bodenabsatz auf den 1 m langen Blechen hat das Ausmass der Abtragsverluste von den gekrümelten Parzellen entscheidend beeinflusst und zu den hohen Werten für die relative Abtragsdichte geführt.

Der Fortfall der Prallwirkung der Regentropfen auf den überdachten Abflussblechen führt einmal dazu, dass die Turbulenz des Abflusswassers und damit sein Auftrieb derart abnimmt, dass ein Transport schwerer Aggregate bis in die Auffang-eimer nicht mehr möglich ist. Weder dieser durch Wirbelung (whirling) hervorgerufene Bodenabtrag <sup>(2)</sup> noch ein durch den laminaren Fluss des Wassers allein bedingter Transport spezifisch leichter, poröser Aggregate als Geschiebe kann jedoch auf den kleinen Messparzellen von besonderer Bedeutung sein, da es hier durch die Lockerheit der verbesserten Parzellen wie durch die Kleinheit derselben kaum zu einer stärkeren Überströmung des Bodens durch oberflächlich abfliessendes Wasser kommt.

Vielmehr wird die Bewegung des Bodens auf den lockeren Parzellen, die in keinem Verhältnis zu der erzielten Einschränkung des Abflusses steht, vermutlich in viel stärkerem Masse durch die Spritzwirkung der Regentropfen (splash) hervorgerufen. Während bei glatter und relativ dichter Bodenoberfläche die Energie der fallenden Tropfen grösstenteils zur Loslösung feiner Teilchen und zur Zerschlämmung des Bodens verbraucht wird, kann sie sich beim lockeren Boden unmittelbar in den Abtrieb der lose aufliegenden und eine grosse Angriffsfläche bietenden Krümel umsetzen. Dabei werden diese mit dem hochspritzenden Wasser weiter oder kürzer

durch die Luft gewirbelt und zum überwiegenden Teil hangabwärts versetzt, wie ELLISON nachweisen konnte (3). Dass dieser Abtrag durch splash-Wirkung auf den gekrümelten lockeren Parzellen von besonderer Bedeutung ist, zeigt das an den hochgestellten Kanten der Abflussbleche wie an der Brettumrandung der Parzellen haftende Bodenmaterial.

An einem Beispiel für den Hattenheimer Boden kann die Wirkung künstlicher Bodenlockerung einerseits und stabiler Aggregation andererseits auf die Erosion verglichen werden. Hierzu sind in Darst. 1 die Messungsergebnisse vom 18.7. und 21.9.1953 aufgetragen. Zwischen den beiden Messungstagen wurde der Boden zur Bekämpfung des Unkrautes flach gehackt. Bei vorwiegend trockener Witterung fand danach bis zum Abfluss am 21.9. keine nennenswerte Verdichtung des Bodens statt. Die Darstellung zeigt, wie am 21.9. der Wasserverlust — trotz grösserer Regenmenge und — intensität — infolge der Bodenlockerung stark abnimmt, während der Bodenverlust sehr erheblich ansteigt. Dies gilt aber besonders für die unbehandelte Parzelle (O), auf der behandelten Parzelle (I) macht sich die Lockerung und Mischung weniger bemerkbar. So steigt auf der unbehandelten Parzelle der Bodenverlust nach der Auflockerung um das 5-fache, auf der behandelten Parzelle aber nur um das 3-fache. Dies ist dadurch zu erklären, dass die allein durch Lockerung entstandenen, wenig stabilen Krümel der Parzelle O leicht zerstört und danach bei starker Spritzwirkung dem Abtrag unterliegen. Bei den stabilen Aggregaten der Parzelle I ist dies in weit geringerem Masse der Fall.



Darst. 1 — Hattenheim 1953. Die Wirkung von Bodenlockerung und Regenintensität auf Abfluss und Abtrag.

Aus zahlreichen anderen Messwerten geht hervor, dass mit steigender Intensität und Dauer des Niederschlages der durch splash bedingte Bodenabtrag zunimmt. Allgemein wird sich also die höhere Abtragsdichte auf den gekrümelten Parzellen dahingehend auswirken, dass mit zunehmender Dauer und Intensität des Regens die Gesamtabtragswerte der zerschlämmten und strukturstabilen Parzellen näher zusammenrücken, die abtragshemmende Wirkung der Aggregation also abnimmt.

Es ist jedoch ganz unwahrscheinlich, dass die Intensität des Abtragungsvorganges von lockeren und verkrusteten Böden sich jemals angleichen oder gar überschneiden wird. Dies kann vor allem bei grossen abtragsgefährdeten Hangflächen nie der Fall sein, da hier die Erosionsbedingungen ganz anders sind als auf den kleinen Messparzellen. Weil die Energie der spritzenden Tropfen an jeder Stelle des Hanges dieselbe ist, kann der Abtrag durch splash nur auf dem oberen Hangteil von Bedeutung sein, denn hangabwärts wird immer mehr Energie zur Bewegung zugespritzten Bodenmaterials aus höheren Hanglagen verbraucht (4). Andererseits wächst aber mit der

Länge des Hanges die Schleppkraft des Oberflächenabflusses und die Voraussetzungen für eine Zusammenfassung von Tagewässern in Rinnsalen mit verstärktem Abtragsvermögen steigern die Erosionsgefahr ganz erheblich. Die mit der Länge des Hanges zunehmende stärkere Bedeckung der Oberfläche durch abfliessendes Wasser verhindert zudem, dass der Boden unmittelbar der Schlagwirkung der Regentropfen ausgesetzt ist. Hier fallen die Tropfen zum grossen Teil in abströmendes Tagewasser und erhöhen damit dessen Turbulenz und Schwebbeladung. Auf den kleinen Messparzellen konnte sich die verfrachtende Wirkung des vom dichtgeschlämmten Boden zwar wesentlich stärker aber noch energiearm und wenig zusammengefasst abfliessenden Wassers nicht zeigen. Der Abtrag durch Spritzwirkung kam jedoch hier voll zur Geltung und musste deshalb die Abtragswerte der gegen splash besonders anfälligen Parzellen mit lockerer Oberfläche merklich beeinflussen.

Es ist bemerkenswert, dass der Rüdesheimer Boden einen Abtrag durch splash nicht in entsprechendem Ausmass aufweist. Hier mildern hoher Stein- und Grus-Anteil die Schlagwirkung des Regens, und ein Transport des Bodens wird hauptsächlich durch das zwischen den aufliegenden Steinen in Fäden abströmende Wasser bewirkt.

Allgemein werden somit an langen Hängen die Abtragswerte des kompakten und verkrusteten Bodens die des lockeren, gekrümelten Bodens noch weit stärker übersteigen, als dies hier durch Abflussmessungen auf kleinen Parzellen gezeigt werden konnte. Ausserdem wird im Falle hoher Krümelstabilität ein bevorzugter Abtrag der besonders wertvollen kolloiden Bodenanteile, wie Ton und Humus, verhindert und eine verstärkte Tendenz zur Zwischenablagerung sich einstellen, da der hohe Gehalt an stabilen grossen Aggregaten einen schnellen Absatz aus dem transportierenden Wasser zur Folge hat. Der Abtragungsvorgang wird somit auf den Böden mit beständiger Krümelung nicht nur wesentlich verlangsamt, sondern gleichzeitig wird auch die Aufbereitung solcher Böden nach Korngrössen wirksam unterbunden.

#### SCHRIFTTUM

- (1) SCHREIBER, H. Untersuchungen über den Einfluss von synthetischen Bodenverbesserern auf verschiedene physikalische Bodeneigenschaften. *Zeitschr. f. Acker- u. Pflanzenbau* 101, 4, S. 361-394, 1956.
- (2) KURON, H. und STEINMETZ, H. J. Über den Wirbelungseffekt von Regentropfen als eine Ursache der Bodenerosion. (On the whirling effect of rain drops as one cause of soil erosion). Kongress der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik — Sektion Hydrologie —, Toronto 1957.
- (3) ELLISON, W. D. Soil transportation in the splash process. — *Soil erosion studies* — Part V, *Agr. Eng.*, Aug. 1947.
- (4) ELLISON, W. D. und ELLISON, O. T. Soil detachment by surface flow. — *Soil erosion studies* — Part VI, *Agr. Eng.*, Sept. 1947.

# L'ÉROSION DU SOL DANS LES TERRITOIRES FRANÇAIS D'OUTRE-MER

F. FOURNIER (France)

## RÉSUMÉ

La mesure de l'érosion du sol est entreprise systématiquement depuis trois ans dans les Territoires Français d'Outre-mer. On évalue l'intensité de ce phénomène en différentes conditions de milieu naturel et les données chiffrées issues de cette investigation doivent aider à juger de la conservation des sols.

L'étude actuellement en cours concerne l'effet du « splash » et la mesure de l'érosion et du ruissellement en champs expérimentaux. La méthode de mesure employée est celle des parcelles expérimentales.

Elle se combinera avec une étude de l'érosion en petits et en grands bassins fluviaux faite par la mesure du débit solide.

Le milieu tropical est l'un des milieux du globe où le phénomène d'érosion du sol par l'eau atteint un développement et une intensité des plus élevés. L'Afrique Occidentale Française et Madagascar n'échappent pas à cette règle et le problème de la lutte contre la dégradation des sols est l'un des problèmes de base à résoudre pour réaliser la mise en valeur agricole de ces deux Territoires de l'Union Française.

La mesure de l'érosion du sol en multiples conditions de milieu naturel s'avère nécessaire pour l'aborder de manière rationnelle. Elle permet en effet, par l'établissement de comparaisons, de juger de la susceptibilité à l'érosion et par cela de déterminer les milieux les plus conservateurs. La connaissance des facteurs de cette érosion est tout aussi indispensable puis-qu'il faut lutter contre eux.

C'est pour ces raisons que les études de Conservation des Sols débutées récemment en A.O.F. et à Madagascar ont compris tout d'abord des études sur l'érosion. Elles sont entreprises actuellement dans huit stations expérimentales créées sous l'égide de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, des Bureaux des Sols Territoriaux et des Services de l'Agriculture Outre-Mer. Deux instituts collaborent également à ces recherches : l'Institut des Fruits et Agrumes Coloniaux, et l'Institut de Recherche pour les Huiles et Oléagineux.

Tous ces organismes ont accepté la réunion de leurs connaissances actuellement acquises pour leur présentation à la Commission de l'Erosion Continentale de la Section d'Hydrologie scientifique de l'U.G.G.I. Nous sommes donc redevables du contenu des trois communications qui vont suivre aux stations suivantes :

— Station Expérimentale de la C.G.O.T. à Séfa (Sénégal) — Etudes faites par R. FAUCK et J.P. COINTEPAS.

— Station Centrale des Cultures Fruitières Tropicales (I.F.A.C.)-Kindia (Guinée Fr.) — Etudes par F. DUGAIN.

— Station Rizicole de Kankan (Guinée Fr.) — Etudes faites par P. VEROT.

— Secteur Expérimental d'Exploitation du Quinquina — Sérédou (Guinée Fr.) — Etudes faites par P. BONNET.

— Institut d'Enseignement et de Recherches Tropicales — Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) — Etudes faites par N. LENEUF.

— Station Expérimentale de l'I.R.H.O. — Niangoloko (Haute Volta) Etudes faites par R. CHRISTOL.

— Station Agronomique du Lac Alaotra (Madagascar) — Etudes faites par P. ROCHE.



— Institut de Recherche Scientifique de Madagascar — Tananarive-Etudes faites par J. RIQUIER.

D'autre par Monsieur RODIER, Chef du Service d'Hydrologie de l'O.R.S.T.O.M. a bien voulu communiquer les premières données possédées sur les transports solides effectués par certains cours d'eau africains et malgaches.

## LES METHODES EMPLOYEES POUR L'ETUDE DE L'EROSION DU SOL DANS LES TERRITOIRES FRANCAIS D'OUTRE-MER

L'évaluation de l'érosion du sol doit comporter quatre catégories de mesures si elle veut être complète et si l'on désire en tirer le maximum d'enseignements possibles.

1<sup>o</sup>) la mesure de la quantité de terre déplacée par les gouttes d'eau lorsqu'elles frappent le sol et exercent une action mécanique sur lui.

2<sup>o</sup>) la mesure de la quantité de terre perdue par des champs.

3<sup>o</sup>) la mesure de la quantité de terre perdue par de petits bassins versants élémentaires.

4<sup>o</sup>) la mesure de la quantité de terre définitivement perdue par un grand bassin fluvial englobant les lieux où sont faites les précédentes mesures.

Les deux dernières évaluations se font par la mesure du débit solide des cours d'eau.

Les méthodes employées pour ces études en Afrique Occidentale Française et à Madagascar sont les suivantes

### I. MESURE DE L'EFFET DU « SPLASH »

Cette mesure ne s'est pas encore généralisée dans les Territoires Français d'Outre-mer. Une seule station l'a entreprise (station IRHO de Niangoloko) de la manière suivante.

Un entonnoir en tôle de 20 cm de diamètre est embouché sur une bouteille de 1 litre. L'ensemble est enfoncé en terre dans un trou cylindrique dont la paroi ne peut s'effondrer parce qu'elle est maintenue par un cylindre métallique. Le bord de l'entonnoir dépasse très légèrement la surface du sol pour éviter la pénétration de l'eau qui ruisselle dans le système récepteur. Celui-ci enfin est placé au centre d'une surface limitée par un cylindre de tôle de 40 cm de hauteur et de diamètre choisi. Cette « barrière » protège la surface de tout ruissellement venant de l'amont. Elle empêche également l'action du vent.

En plaçant une série de systèmes récepteurs au milieu d'une série de surfaces protégées dont le diamètre croît, on peut estimer jusqu'à quelle distance se manifeste l'effet du « splash ».

Après chaque pluie, la terre est floculée par HCl et pesée après séchage.

### II. MESURE DE L'ÉROSION DU SOL EN CHAMPS

Dans le stade actuel de l'investigation entreprise en A.O.F. et à Madagascar, tout l'effort a porté sur cette mesure car c'est elle qui permet surtout de juger de la conservation du sol.

La méthode utilisée pour l'effectuer est celle des parcelles expérimentales. Une parcelle expérimentale est constituée de deux parties :

— le champ expérimental.

— en contre bas, le matériel récepteur d'eau et de terre issues du champ pendant la pluie et le ruissellement.

Trois idées directrices président à sa construction :

— la taille et la forme du champ expérimental doivent être telles que celui-ci puisse être considéré, quelle que soit la pratique ou méthode culturale employée, comme représentatif du milieu naturel.

— la taille du champ doit être relativement petite afin que les quantités d'eau et de terre recueillies soient aisément mesurables.

— le matériel récepteur doit être de dimensions telles qu'il puisse contenir la quantité d'eau chargée de sédiments attendue après le ruissellement le plus intense qui puisse survenir sous le climat du lieu.

### 1. *Le champ expérimental.*

Il est généralement rectangulaire, a une pente donnée et ne présente aucun microrelief naturel. Il est limité latéralement et en amont (diguette de terre, plaque métallique, etc...) pour fonctionner comme un véritable bassin versant.

Ses dimensions sont fonctions du but poursuivi. On ne lui donne jamais une largeur inférieure à 5 mètres afin d'éviter les effets de bordure.

### 2. *Le système récepteur.*

Ses parties constitutives sont :

— une gouttière collectrice, située en aval du champ et formant la limite inférieure de celui-ci : son rôle est de collecter l'eau et la terre issues du champ pendant le ruissellement et l'érosion. Son fond est légèrement en pente vers le canal d'adduction afin d'éviter tout dépôt.

— un canal d'adduction. Il prend naissance au milieu de la paroi aval de la gouttière collectrice et conduit l'eau, chargée de sédiments, à une première cuve réceptrice. Son fond accuse également une légère pente pour empêcher les éléments solides de se déposer.

— Plusieurs cuves successives communiquant par des partiteurs. En elles s'accumulent l'eau ruisselée et les éléments solides entraînés dont la mesure est ainsi rendue possible. L'existence d'un tel système de stockage répond au besoin d'effectuer les opérations de mesure et de prélèvement dans des cuves ayant une taille assez petite pour que ces opérations soient aisées et sûres.

La première cuve a généralement la capacité de retenir un volume d'eau de 2 m<sup>3</sup> environ. Elle n'est pas assez grande pour capter toute l'eau qui ruisselle d'un champ de plusieurs centaines de m<sup>2</sup> après la pluie la plus volumineuse. L'excédent d'eau s'écoule alors vers une seconde cuve mais par l'intermédiaire d'un partiteur.

Ce partiteur est un canal de section rectangulaire. Il est ouvert vers la première cuve réceptrice et fermé vers l'aval par une plaque percée d'un nombre impair de fentes de taille et de forme absolument identiques. Le débit est le même à travers chaque fente si le partiteur est construit et placé selon les règles. Toute l'eau passant à travers la fente centrale est recueillie dans un conduit et dirigé vers la seconde cuve. L'eau passant à travers les autres fentes se perd hors du système récepteur.

Un partiteur permet donc de ne recueillir qu'une fraction très exactement connue de l'eau qui le traverse : le nombre de fentes conditionne ce fractionnement.

Si besoin est, un nouveau partiteur et une troisième cuve peuvent être placés après la seconde cuve réceptrice.

Par cette méthode, un volume d'eau considérable qui ruisselle peut être estimé et sa turbidité calculée.

L'emploi des partiteurs nécessite un aménagement spécial de la première cuve.

Elle comprend des tamis destinés à arrêter les éléments grossiers susceptibles d'obstruer des fentes donc de provoquer des débits différents à travers elles.

D'autre part, la première cuve doit se vider du haut vers le bas. Ceci est nécessaire pour mesurer les dépôts qui se produisent en elle (dans les autres cuves, il n'y a que des éléments passés en suspension).

#### MESURE DU DÉBIT SOLIDE DES COURS D'EAU.

Nous n'insisterons pas sur cette question qui n'est pas de notre ressort personnel.

Les premières études faites en A.O.F. et à Madagascar l'ont été soit avec des bouteilles, soit à l'aide de la « turbisonde » NEYRPIC, appareil qui permet de prélever des échantillons d'eau à différentes profondeurs et dont le remplissage est commandé par air comprimé.

Ce sont ces méthodes, brièvement exposées ici sans entrer dans les détails, qui ont permis l'obtention des valeurs d'érosion du sol actuellement connues pour les Territoires Français d'Outre-Mer.

# LES VALEURS D'ÉROSION DU SOL DANS LES TERRITOIRES FRANÇAIS D'OUTRE-MER

Frédéric FOURNIER (France)

## RÉSUMÉ

Sous l'égide des Bureaux des Sols Territoriaux, de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, des Services de l'Agriculture Outre-Mer et des deux Instituts, l'Institut des Fruits et Agrumes Coloniaux et l'Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux, sept stations de mesure de l'érosion fonctionnent actuellement en France d'Outre-Mer. Elles se situent : au Sénégal : Sefa; en Guinée : Kindia et Seredou; en Côte d'Ivoire : I. D. E. R. T. Adiopodoumé; en Haute Volta : Niangoloko; à Madagascar : Tananarive et Lac Alaotra.

Elles fournissent des renseignements quantitatifs sur l'érosion en différentes conditions climatiques (climats tropicaux), topographiques (pentes de 1 à plus de 30 %) et agronomiques (cultures sarclées, cultures arbustives, plantes de couverture, engrais verts, culture africaine, culture mécanisée, rotations culturales, culture en terrasses à lit en pente, culture en billons diversement inclinés, culture en bandes alternées, etc...)

L'étude de l'érosion du sol en A.O.F. et à Madagascar fournit déjà des mesures nombreuses de ce phénomène. Elles se rapportent à différents milieux situés sur des climats divers. Il serait idéal de pouvoir les exposer en comparant, à l'intérieur d'un même grand bassin fluvial, l'effet du « splash », l'érosion en champs expérimentaux de quelques centaines de m<sup>2</sup>, l'érosion en petits bassins élémentaires et la perte totale en substances solides subie par le bassin entier. Mais ce stade de connaissance n'est pas encore atteint. Tout l'effort a porté en premier lieu sur les études permettant de juger le plus tôt possible de la conservation des sols. Aussi les valeurs d'érosion possédées à l'heure actuelle sont-elles surtout celles obtenues en champs expérimentaux. Elles seront indiquées tout d'abord, puis seront fournis les renseignements possédés sur l'effet du « splash », la perte en substances chimiques et le débit solide de quelques cours d'eau tropicaux.

## A. L'ÉROSION EN CHAMPS EXPÉRIMENTAUX

Les valeurs d'érosion citées ici se rapportent à des champs de quelques centaines de m<sup>2</sup>. Elles ont été réunies par lieu d'étude en sept tableaux indiquant les conditions de pente, de végétation, de climat et de sol qui ont présidé à ces dégradations.

Les lettres signifient :

- S = surface du champ en m<sup>2</sup>
- L = longueur du champ en mètres
- l = largeur du champ en mètres
- p = pente en %
- P pluviosité annuelle en millimètres
- R = ruissellement annuel exprimé en % de P
- E = érosion annuelle exprimée en tonnes par Km<sup>2</sup>

A côté du nom de la station sont indiqués le climat sous lequel elle se situe et la nature du sol.



TABLEAU 1

STATION DE SEFA (Sénégal — A.O.F.) — Climat tropical : variété maritime du climat sahelo-soudanais-climat à une saison de pluies et une saison sèche — Pluviosité moyenne annuelle : 1346 mm. — La saison des pluies dure cinq mois : juin à octobre. Elle débute et se termine brusquement — La saison sèche est assez longue : sept mois — Température moyenne annuelle : 25 à 26° — Amplitude thermique annuelle : 3 à 4° — Type de sol : sol ferrugineux tropical.

S (m <sup>2</sup> )	L (m)	I (m)	p (%)	Cultures	Méthodes culturales	P (mm.)			R (% de P)			E (T./K.m <sup>2</sup> )		
						1954	1955	1956	1954	1955	1956	1954	1955	1956
1	200	40	5	2	Arachide Jachère Arachide	1303	1395	1265	33,3	19,9	33,1	1257	560	577
2	200	40	5	2	Arachide Riz Arachide	1303	1395	1265	47	49,3	39,5	1728	2713	1075

A — Comparaison de l'érosion en culture indigène et en culture mécanisée pendant une rotation culturale de 4 ans — (Etude en cours).

B. — Mesure de l'érosion sous culture en bandes alternées.

3	500	100	5	1	Riz-arachide Arachide-sorgho (engrais vert)	Cultures en bandes alternées	1340	1148	22	11,3	1150	157
---	-----	-----	---	---	---	---------------------------------	------	------	----	------	------	-----

STATION DE SEFA (suite)

E — Comparaison de l'érosion sous forêt brûlée et sous forêt protégée du feu.

TABLEAU 2

STATION DE KINDIA (Guinée Française - A.O.F.) — Climat tropical, type Guinéen maritime — climat à une saison de pluies et une saison sèche — La saison des pluies dure 5 à 6 mois : mai ou juin à octobre — Temperature moyenne annuelle : 26° — Amplitude thermique annuelle : 3 à 4° — Pluviosité moyenne annuelle : 2039,4 mm.

S (m <sup>2</sup> )	L (m)	l (m)	p (%)	Cultures	Methodes Culturales	P (mm)	R (% P)	E (T/Km <sup>2</sup> )	Période d'étude
A — Comparaison de l'érosion en différentes conditions de culture d'agrumes.									
1	200	14	14	6	Agrumes	Parcelle témoin — agrumes sur sol nu.	1342,7	9,4	1787 1956
2	200	14	14	6	Agrumes	Agrumes sur sol couvert de végétation naturelle herbacée	—id—	2	311 —id—
3	200	14	14	6	Agrumes	Agrumes sur sol couvert d'une plante de couverture	—id—	2,1	562 —id—
B — Erosion en culture d'ananas.									
200	40	5	6	Ananas	Plantation en double ligne avec paillage intermédiaire	—id—	1,7	206	—id—

TABLEAU 3

STATION DE KANKAN (Guinée française — A.O.F.) — Climat tropical, type soudano-Guinéen — Climat à une saison de pluies et une saison sèche — La saison des pluies dure 5 à 6 mois : mai ou juin à octobre — *Temperature moyenne annuelle* : 26° — *Amplitude thermique* : 4 à 6° — *Pluviosité moyenne annuelle* : 1702,9 mm. — *Type de sol* : Sol ferrugineux tropical à gravillons sur ancienne terrasse alluviale.

	S (m <sup>2</sup> )	L (m)	I (m)	P (%)	Cultures	Méthodes Culturelles	P (mm)	R (% de P)	E (T/Km <sup>2</sup> )	Période d'étude
Mesure de l'érosion en culture du riz.										
1	100	20	5	3,5	végétation naturelle	Parcelle témoin non cultivée	692		19,4	juillet à novembre 1956
2	100	20	5	3,5	Riz	Sol travaillé à la « daba », sans brulis	—id—		21,9	—id—
3	250	50	5	3,5	Riz	Brulis et aucun travail du sol	—id—		17,2	—id—



TABLEAU 4

STATION DE SEREDOU (Guinée française — A.O.F.) Climat tropical : variété montagnarde du climat Guinéen — Climat à une très courte saison sèche (un seul mois sec : janvier) — La saison des pluies s'étend sur presque toute l'année : mars à novembre — Pluviosité moyenne annuelle : 2733,4 mm — Température moyenne annuelle inférieure à 24°.

	S (m <sup>2</sup> )	L (m)	I (m)	P (°)	Cultures	Méthodes Culturelles	P (mm)	R (% P)	E (T/Km <sup>2</sup> )	Période d'étude
A — Evaluation de l'efficacité de dispositifs anti-érosion en culture du Quinquina.										
1	300	30	10	25	Quinquina	Parcelle témoin sans dispositif anti-érosion	2934	6,5	2.448	Jun 1955- Jun 1956-
2	300	30	10	25	Quinquina	Fossés isohypses cloisonnés réalisant une rétention d'eau de 360 m <sup>3</sup> à l'hectare	2934	4,3	891	—id—
3	300	30	10	25	Quinquina	Terrasses en banquettes d'une largeur de 1 mètre et horizontales	2934	6,45	721	—id—
B — Mesure de l'érosion en deux conditions de culture du riz de montagne.										
4	300	30	10	25	Riz de montagne	senis de riz au début des pluies après abbatage de la forêt en saison sèche, nettoyage par le feu et labour très léger (5 cm.)	2934	2,8	446.	—id—
5	300	30	10	25	Riz de montagne	Même méthode culturale, mais deux fossés de diversion, espacés de 10 m, ont été créés sur la parcelle	2934	3	456	—id—

TABLEAU 5

STATION D'ADIOPODOUME (Côte d'Ivoire — A.O.F.) — Climat tropical, type Guinéen — Climat à deux maximums pluviaux (juin et octobre-novembre,) une saison sèche hivernale (3 mois : janvier-mars) et une saison relativement sèche (juillet-août. — Pluviosité moyenne annuelle : 1959,2 mm. — Température moyenne annuelle : 27° 2 — Amplitude thermique annuelle : 2 à 3°.

	S (m <sup>2</sup> )	L (m)	I (m)	P (%)	Cultures	Méthodes culturales	P (mm)	R (% P)	E (T/Km <sup>2</sup> )	période d'étude
— Comparaison de l'érosion en différentes conditions de milieu.										
1	90	15	6	7	Sol nu	Parcelle témoin, désherbée	1939	23,6	11770	1956
2	90	15	6	7	Crotalaire	Culture à plat	1939	14,4	4787	—id—
3	90	15	6	7	Manioc	Culture sur buttes	1939	20,8	9277	—id—
4	90	15	6	7	Flemingia	Culture à plat	1939	12,9	4250	—id—
5	90	15	6	7	Ananas	Culture suivant les courbes de niveau, à plat	1939	11	1510	—id—
6	72	12	6	12 à 15	Forêt		1939	1,8	242	—id—

TABLEAU 6

STATION DE NIANGOLOKO (Haute-Volta — A.O.F.) — Climat tropical, type soudano-Guinéen — Climat à une saison de pluies et une saison sèche — La saison des pluies dure 5 mois : mai à septembre — Température moyenne annuelle : 27° 5 — Amplitude thermique annuelle 5 à 6°.

S (m²)	L (m)	l (m)	p (%)	Culture	Méthodes Culturales	P (mm)	R (% de P)	E (T/Km²)	période d'étude
Etude de l'effet sur l'érosion de différentes méthodes de culture de l'arachide.									
1	210	30	7	2,5	Arachide	516,3	11,2	451	1956
2	210	30	7	2,5	Arachide	516,3	10,4	541	—id—
3	210	30	7	2,5	Arachide	516,3	2,7	307	—id—
4	210	30	7	2,5	Arachide	516,3	4,1	137	—id—
5	210	30	7	2,5	Arachide	516,3	3,6	105	—id—
6	210	30	7	2,5	Arachide	516,3	1,6	122	—id—

TABLEAU 7

— STATION DU LAC ALAOTRA (Madagascar) — Climat tropical des H<sup>ts</sup> Plateaux — Climat à une saison de pluies et une saison sèche — La saison des pluies dure 4 à 5 mois : novembre ou décembre à mars — Pluviosité moyenne annuelle : 1118.5 mm

A. Mesure de l'érosion pendant une rotation culturale de 5 ans. Etude en cours sur 5 parcelles expérimentales de 75 m<sup>2</sup> (15 × 15m), en pente de 8 ‰. Le sol est un sol latéritique rouge. Les résultats partiels sont les suivants, après trois années de mesures, pour chaque élément de la rotation.

Cultures	P (mm.)	E (T/Km <sup>2</sup> /an)	Périodique d'étude
Arachide	1126,8	2372	1954-1956
Engrais vert (Dolichos Lablab)	»	2229	»
Manioc — 1 <sup>ère</sup> année	»	2153	»
Manioc — 2 <sup>ème</sup> année	»	2011	»
Fourrages (Euchlaena + soja)	»	1469	»

B. Mesure de l'érosion pendant une rotation culturale de 4 ans. Etude en cours sur 4 parcelles expérimentales (conditions identiques à celles de la précédente étude). Les résultats partiels sont les suivants, après trois années de mesures, pour chaque élément de la rotation.

Cultures	P (mm)	E (T.Km <sup>2</sup> /an)	Période d'étude
Arachide	1126,8	2000	1954-1956
Engrais vert (Phaseolus lunatus)	»	1309	»
Maïs	»	1299	»
Fourrages (Euchlaena + Vigna sinensis)	»	1280	»

C. Mesure de l'érosion sous prairie semée et prairie repiquée. Etude faite en parcelles identiques à celles des précédentes études.

Cultures	P (mm)	E (T/Km <sup>2</sup> /an)	Période d'étude
Prairie semée (Chloris Gayana — Setaria sphacelata — Paspalum virgatum)	1126,8	469	1954-1956
Prairie identique établie par bouturage	»	573	»
Prairie de Pennisetum purpureum établie par bouturage	»	779	»



## B. L'EFFET DU « SPLASH »

Un système de mesure de l'effet du « splash » a été mis en place en 1956 à la station de Niangoloko par l'Institut de Recherche pour les Huiles et Oléagineux. Il a été précédemment décrit (cf. la communication précédente). Sa première année de fonctionnement a été consacrée en grande partie à sa mise au point, aussi est-il prématuré de tirer des conclusions des quelques résultats obtenus. Mais la donnée suivante peut être cependant indiquée :

Un système récepteur protégé du ruissellement, ayant 314 Cm<sup>2</sup> de superficie (20 cm de diamètre) et placé au milieu d'une parcelle d'archides plane et désherbée a reçu en une saison de pluies 1,32 gr. de terre par cm<sup>2</sup> par suite du rebondissement des gouttes d'eau.

## C. LE TRANSPORT DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

Il est capital d'évaluer, à côté de la perte en terre, la perte en substances chimiques subie par des champs soumis à l'érosion. La diminution de la fertilité du sol peut en effet y être liée. N. LENEUF s'est attaché à cette étude à Adiopodoumé, il aboutit aux conclusions suivantes pour les sables tertiaires de la basse Côte d'Ivoire.

1° — Il ressort de l'analyse de la terre érodée et de celle du sol en place que l'exportation totale de matière organique correspond sensiblement à la quantité de cet élément contenue dans l'épaisseur de sol entraînée.

2° — Par contre, en ce qui concerne les bases (calcium, sodium, potassium, magnésium), la teneur en éléments totaux de la terre érodée est cinq à dix fois plus élevée que celle du sol en place, Ceci indique donc un lessivage oblique intense des bases échangeables qui entraîne un appauvrissement du sol.

P. ROCHE, au Lac Alaotra (Madagascar) a entrepris une étude analogue à propos d'un sol rouge ferrallitique. Il aboutit à des conclusions identiques à celles de N. LENEUF. La terre entraînée par érosion est deux fois plus riche en chaux et deux à six fois plus riche en potasse que l'horizon supérieur du sol en place. (30 premiers centimètres). Elle est moins acide (1/2 à 1 unité pH en plus).

## D. LES TRANSPORTS SOLIDES EFFECTUÉS PAR QUELQUES COURS D'EAU TROPICAUX

Toutes les valeurs d'érosion citées jusqu'à présent ne concernent que des champs expérimentaux dont l'étendue est très restreinte. Dans un avenir proche, la mesure du débit solide des cours d'eau doit s'amplifier dans les Territoires Français d'Outre-Mer, étant donné l'intérêt de la connaissance de ce phénomène tant pour l'Hydrologue que pour l'Agronome. Les premières campagnes de mesures, qui doivent porter sur plusieurs années, ne font que débiter mais elles jettent cependant déjà quelques lumières sur les transports solides effectués par deux cours d'eau de la cuvette tchadienne et un cours d'eau malgache.

1 — *Logone à Hollom* — (Cuvette Tchadienne — (Etude faite par la Commission du Logone — Tchad). Superficie du bassin versant : 75.000 Km<sup>2</sup>.

a — *Climat du bassin* : Climat tropical à une saison de pluies et une saison sèche. La pluviosité moyenne annuelle est élevée sur le haut bassin (1.400 à 1.600 mm.), moyennement élevée sur le bassin moyen (1.000 à 1.400 mm.), moyenne sur le bassin inférieur (700 à 1.000 mm.). La saison des pluies diminue du sud au nord : sa durée passe de 8 à 3 ou 4 mois. La température moyenne annuelle est de 25 à 30°. Elle

diminue légèrement sur le haut bassin : 22 à 25°. L'amplitude thermique annuelle, faible dans cette dernière région, 2 à 3°, atteint 5 à 10° dans le nord du bassin.

b — *Composition géologique du bassin* —

— Roches cristallines (granite, quartz, granito-gneiss).....	— 35 %
— Formations argileuses et sableuses du quaternaire de la cuvette tchadienne .....	65 %

c — *Végétation du bassin* —

— Savane à épineux et à andropogons .....	3 %
— Savane légèrement boisée .....	75 %
— Savane boisée .....	11 %
— Marécages .....	7 %
— Prairie des Hauts Plateaux .....	4 %

d — *Débit solide* —

Le débit solide en suspension a été mesuré en 1954. A chaque mesure, 10 prélèvements ont été effectués le long de 4 verticales (2,3,3,2). La turbidité moyenne annuelle a été obtenue par la moyenne arithmétique des turbidités enregistrées à la crue et à la décrue. Elle a été multipliée par les volumes écoulés en saison des pluies pour l'obtention du débit solide annuel. Celui-ci se chiffre à 1.250.000 tonnes pour 1954. La dégradation spécifique est donc de 16,6 tonnes /Km<sup>2</sup> /an. La lame d'eau reçue pendant cette année par le bassin s'est élevée à 1.440 mm. Le coefficient d'écoulement a été de 12 %.

2 — *Chari à Goulféi* — (Cuvette Tchadienne) (Etude faite par la Commission du Logone Tchad). Superficie du bassin versant : 600.000 Km<sup>2</sup>.

a — *Climat du bassin* : climat identique à celui qui règne sur le bassin du Logone.

b — *Composition géologique du bassin*.

- Formation d'alluvions quaternaires dans le bassin inférieur et moyen,
- Roches métamorphiques, granite grès.

c — *Végétation du bassin*.

- Toutes les zones de végétation comprises entre la pseudosteppe et la savane boisée.

d — *Débit solide*.

Le débit solide en suspension a été mesuré en 1954 de la même manière que pour le Logone. Il s'élève pour l'année à 2.000.000 tonnes, ce qui représente une dégradation spécifique de 3,3 tonnes /Km<sup>2</sup> /an. La pluviosité annuelle sur le bassin a été de 1120 mm. et le coefficient d'écoulement de 7 %.

3 — *Mangoky au Banian* (Madagascar) (Etude faite par l'Institut de Recherche Scientifique de Madagascar). Superficie du bassin versant : 53.900 Km<sup>2</sup>.

a — *Climat du bassin* : Climat tropical à une saison de pluies et une saison sèche. La pluviosité moyenne annuelle est élevée ou très élevée sur les Haut Plateaux Malgaches d'où ce cours d'eau descend (1000 à 2.000 mm.). Elle est moyenne sur le bassin inférieur (700 à 1.000 mm.) La durée de la saison des pluies est d'environ 5 mois. La température moyenne annuelle est de 20 à 25° et l'amplitude thermique annuelle de 6 à 10°

b — *Composition géologique du bassin* :

- En amont, terrains granitiques couverts de sols ferrallitiques.
- En aval, terrains sédimentaires (grès ou calcaire).

c — *Végétation du bassin :*

- Sur les Hauts Plateaux, prairie de graminées avec reliques forestières dans certains bas-fonds.
- A l'aval, savane à végétation xérophile et savane boisée claire avec galeries forestières.

d — *Débit solide :*

Les transports solides effectués en suspension ont été étudiés et mesurés en 1955 et 1956 par Y. BRESSON. Celui-ci a dégagé une analogie de variation entre le débit du cours d'eau Q et sa turbidité T. L'équation :  $T. \text{ gr/m}^3 = 0,82 \times Q \text{ m}^3/\text{sec} - 162$ . rend compte de l'ordre de grandeur moyen du phénomène entre 300 et 3000  $\text{m}^3/\text{sec}$ .

Ceci a permis d'évaluer le débit solide annuel en suspension du Mangoky pour quatre années hydrologiques :

Juillet 1951 — Juin 1952 : 5.500.000 tonnes

» 1952 — » 1953 : 19.200.000 »

» 1953 — » 1954 : 17.300.000 »

» 1954 — » 1955 : 8.900.000 »

Ces valeurs correspondent à des dégradations spécifiques comprises entre 102 et 356 tonnes/ $\text{Km}^2/\text{an}$ . La hauteur d'eau que reçoit en moyenne le bassin s'élève à environ 1.000 mm. Le coefficient d'écoulement moyen est de 26 %.

Telles sont les précisions actuellement possédées sur l'érosion du sol en Afrique Occidentale française et à Madagascar. Elles se rapportent essentiellement à la zone tropicale humide. Ce phénomène devient en ce milieu très intense : des dégradations spécifiques comprises entre 1700 et plus de 10.000  $\text{t}/\text{km}^2/\text{an}$  sont en effet observées quand le sol n'est pas protégé.

Ceci n'est cependant pas règle générale : l'érosion n'apparaît que peu importante à Kankan, en Guinée, et à Niangoloko, en Haute-Volta, probablement pour des raisons pédologiques.

En ce qui concerne les transports solides effectués par les cours d'eau les trois valeurs citées sont faibles. Une étude des caractères des bassins versants permettra sans doute de les expliquer. Mais les recherches en ce domaine ne font que débiter et l'étendue du travail à accomplir encore interdit toute onclusion actuelle à ce sujet.

# LES FACTEURS DE L'ÉROSION DU SOL EN ZONE TROPICALE CONCLUSIONS SUR LA CONSERVATION DU SOL

F. FOURNIER

## RÉSUMÉ

Les données chiffrées fournies par les stations de mesure de l'érosion du sol permettent de se rendre compte de l'effet des précipitations (action du volume, de l'intensité et de la fréquence des pluies), de la pente, et de la végétation sur la grandeur de ce phénomène.

Obtenues d'autre part en multiples conditions de milieu naturel, elles permettent de se rendre compte de la valeur conservatrice des pratiques ou méthodes culturales.

Les facteurs de l'érosion du sol en zone tropicale sont, comme partout à la surface terrestre, le climat, la pente, la nature du sol, la végétation, l'Homme. Il est capital d'établir par la méthode de l'analyse graphique les corrélations qui peuvent exister entre valeurs exprimant l'intensité des phénomènes que ces facteurs comportent et valeurs du phénomène provoqué. Cette opération est en effet la seule qui permette une prévision de l'érosion en fonction de facteurs connus dans les régions où elle n'est pas mesurée.

Les données possédées sur l'A.O.F. et Madagascar sont malheureusement encore trop insuffisantes et trop disparates pour qu'une telle recherche soit entreprise dès maintenant. Mais elles fournissent cependant déjà des indications importantes sur certains aspects du phénomène d'érosion du sol et permettent de tirer des conclusions sur la conservation de celui-ci. Ce sont ces indications et ces conclusions que l'on trouvera ci-dessous.

## A. LES FACTEURS DE L'ÉROSION DU SOL EN ZONE TROPICALE.

### *I. Influence du climat.*

Le climat est un facteur de l'érosion du sol d'une importance extrême en zone tropicale. Son caractère général est l'alternance des saisons sèches et pluvieuses. Ce fait a déjà des conséquences notables. Il participe à accroître l'instabilité de la structure du sol en allant à l'encontre de la formation de l'humus. La matière végétale tend à se décomposer en effet trop rapidement en saison des pluies : elle ne laisse alors au sol qu'un résidu humique faible. Elle ne se décompose pas du tout pendant la seconde moitié de la saison sèche à cause de l'arrêt de la vie microbienne. Ce n'est donc qu'au début de cette saison que l'humus semble se former dans le sol, ce qui est nettement insuffisant. La saison sèche a d'autre part pour conséquence l'amenuisement et la disparition de la végétation. Le sol est alors mis à nu et reste sans protection contre l'action des tornades qui marquent le début de la saison des pluies. Et, comme en tous lieux à la surface du globe les précipitations atmosphériques sont l'agent créateur et le facteur prépondérant de l'érosion du sol par l'eau. Comme cela a déjà été signalé précédemment, les mesures ne sont pas encore assez nombreuses pour que l'on puisse actuellement établir avec précision des corrélations entre l'érosion et les caractères du phénomène pluvial : intensité de chute des pluies, fréquence



de celles-ci et volume d'eau tombé. Mais certaines conclusions peuvent cependant être dès à présent tirées des premières mesures faites.

### 1. Caractères des précipitations dans les régions étudiées.

Le climat tropical est caractérisé selon la latitude par l'existence d'une ou de deux saisons humides. Les régions concernées par nos communications présentent soit une saison des pluies unique mais déjà longue, soit deux saisons pluvieuses séparées par une courte saison sèche. Dans les deux cas, quatre périodes pluviales peuvent être distinguées. Les observations faites en 1956 à Niangoloko (Haute-Volta) les illustrent bien (cf. Planche n° 1, graphiques 1 et 2).

1°) Au début de la saison des pluies, une première période se définit par des pluies espacées et violentes.

Cette période s'est étendue à Niangoloko en 1956 du 16 mai au 11 juin. Le graphique 2, planche 1, montre que les plus grandes intensités de chute d'eau en mm/minutes <sup>(1)</sup> ont été observées à ce moment. Les pluies se sont succédées à des intervalles de 3 à 7 jours (cf. graphique 1, planche 1).

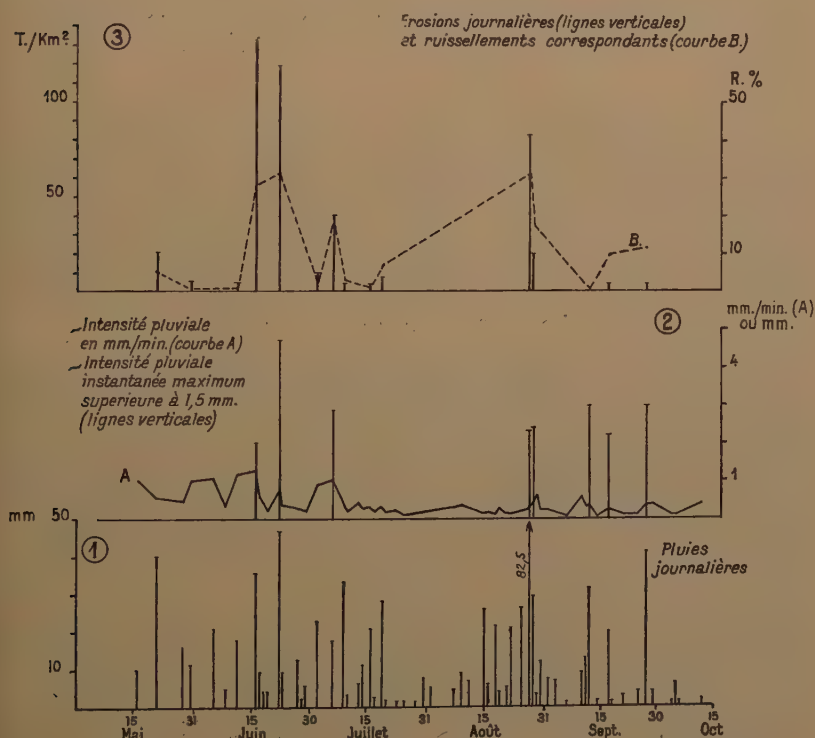


Fig. 1 — Hauteur des précipitations (graphique 1), Intensité des précipitations (graphique 2), Erosion et ruissellement (graphique 3) en 1956 à Niangoloko (Haute Volta — A. O. F.).

(1) Intensité calculée en divisant la hauteur d'une pluie par sa durée.

2<sup>o</sup>) Au cours d'une seconde période, les pluies deviennent très fréquentes et restent violentes. Certaines d'entre elles sont les plus hautes de l'année.

Ceci correspond, pour l'exemple choisi, au laps de temps compris entre le 12 juin et le 6 juillet 1956. Il est remarquable de noter à son sujet que l'intensité pluviale instantanée maximum est surtout très élevée à ce moment alors que les intensités en mm/minute sont légèrement inférieures à celles enregistrées pendant la première période (cf. graphique 2, planche 1).

3<sup>o</sup>) Au cours d'une troisième période, (6 juillet-25 août à Niangoloko en 1956) les pluies restent très fréquentes et sont en général élevées, surtout au début et à la fin de cette période, mais leur intensité diminue notablement.

Les graphiques 1 et 2, planche 1, montrent très nettement ces caractères.

4<sup>o</sup>) Enfin, une quatrième période marque la fin de la saison des pluies en cas d'une saison unique (26 août-12 octobre à Niangoloko en 1956). Les pluies deviennent variables et espacées mais certaines tornades sont élevées et d'une grande violence.

On peut une nouvelle fois constater que celle-ci se traduit plus par l'élévation de l'intensité pluviale instantanée maximum que par celle calculée en mm/min. (cf. Graphique 2, planche 1).

Cette quatrième période correspond à la seconde saison des pluies qui survient après une courte saison sèche dans les régions où existent deux saisons pluviales. Ceci est le cas pour Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) qui permet, avec Niangoloko, l'étude suivante du ruissellement et de l'érosion.

## 2. Analyse du ruissellement et de l'érosion.

L'étude du ruissellement et de l'érosion à la lumière de ces données pluviométriques conduit aux constatations suivantes. Deux cas sont à envisager : cas d'un sol non protégé; cas d'un sol protégé par une végétation qui se développe. Le premier cas est montré par les graphiques 1, 2 et 3 de la planche 1 (Niangoloko 1956, culture d'arachides à plat avec desherbage total), par le graphique 4 et la colonne « sol nu » du tableau 1 (Adiopodoumé 1956, sol nu). Le second est montré par le tableau 1 (Adiopodoumé 1956).

### a) Sol non protégé.

1<sup>o</sup>) Les pluies ne provoquent qu'une érosion relativement faible pendant la première période pluviale malgré leur intensité de chute élevée (intensité en mm/min) et leur hauteur assez grande. (cf. les trois premières mesures faites à Niangoloko et les cinq premières faites à Adiopodoumé).

Ceci provient de l'état du milieu. Le sol en effet résiste à l'érosion parce qu'il est sec et non tassé, donc très absorbant. à la fin de la saison sèche. Il annihile alors le ruissellement. Les coefficients d'écoulement sont les plus faibles de l'année. Les précipitations, espacées, laissent le sol se ressuyer après chacune d'elles.

2<sup>o</sup>) C'est pendant la seconde période pluviale que l'érosion s'accroît de manière considérable.

La plus grande partie (76 %) de la dégradation subie par le sol à Niangoloko en 1956 est survenue à cette époque. L'érosion moyenne par pluie s'est élevée à ce moment à Adiopodoumé à 619,5 tonnes/km<sup>2</sup> alors qu'elle a été toujours inférieure à 300 tonnes/km<sup>2</sup> pendant les trois autres périodes pluviales (cf. tableau 1).

Les graphiques 1, 2 et 3 de la planche 1 montrent que cette érosion considérable correspond :

— à l'augmentation de la hauteur d'eau tombée : les pluies survenues lors des 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> mesures à Niangoloko se placent parmi les hautes de l'année.

— à une fréquence presque journalière des pluies : celles-ci provoquent une humidification constante du sol qui tend à se saturer.

— à l'augmentation du ruissellement (ceci s'observe également sur le graphique 4).

— à l'augmentation enfin de l'intensité pluviale instantanée maximum. Celle-ci, ou tout au moins l'intensité de chute d'eau maximum observée pendant une unité de temps très petite, une à cinq minutes par exemple, semble exprimer le mieux le caractère d'intensité des précipitations.

3<sup>o</sup>) Au cours de la troisième période, l'érosion diminue comme le montrent pour Adiopodoumé la figure 2 et le tableau 1. Elle peut même devenir très faible comme à Niangoloko. Le ruissellement par contre augmente toujours (cf. graphique 4 et tableau 1).

Le premier fait est lié à la diminution très nette de l'intensité des précipitations, le second à la saturation du sol : les coefficients d'écoulement s'accroissant sur un sol gorgé d'eau.

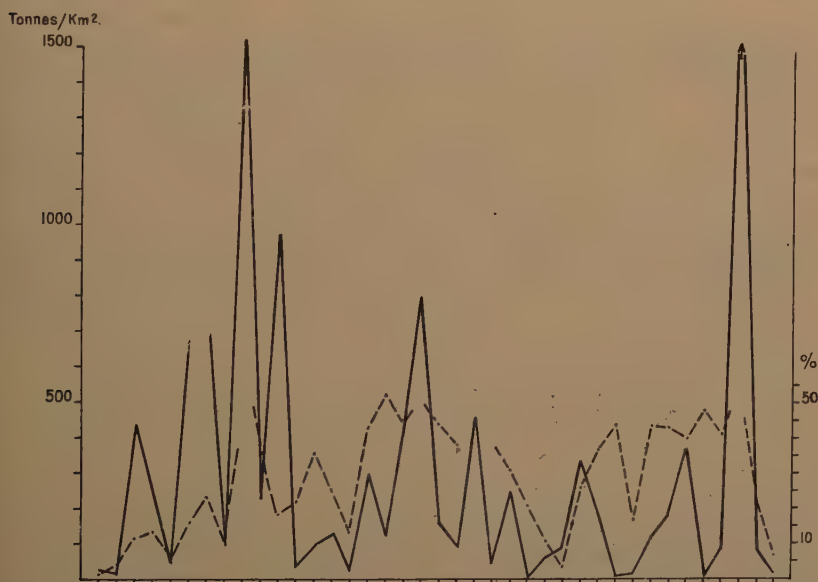


Fig. 2 — Variation du coefficient d'écoulement et de l'érosion au cours de l'année 1956 à Adiopodoumé (Côte d'Ivoire — A. O. F.). (En trait plein : érosion — En trait interrompu : coefficient d'écoulement — En abscisse : mesures journalières).

4<sup>o</sup>) Au cours de la dernière période pluviale enfin, le ruissellement reste élevé et l'érosion est souvent assez peu marquée malgré la violence des précipitations (cf. en particulier cette dernière période à Niangoloko, planche 1).

Ceci provient peut être d'une plus grande résistance du sol à une attaque par l'eau parce que les éléments terreux facilement détachables et entraînable ont déjà été érodés.

Mais il se produit à cette époque quelques phénomènes pluviaux extrêmement accentués qui provoquent à nouveau une érosion très forte. C'est le cas de la pluie la plus haute et la plus longue de l'année 1956 à Niangoloko : 82, 5 mm en 6 heures ; c'est le cas également, à Adiopodoumé, d'une tornade de 148 mm tombée avec une violence extrême.

b) *Sol protégé par une végétation qui se développe.*

Le tableau 1, fournissant les observations faites à Adiopodoumé en 1956, montre le déroulement de l'érosion et du ruissellement en ce cas.

1<sup>o</sup>) Au cours de la première période, le sol n'est pas protégé par la végétation dont le développement est nul à la fin de la saison sèche. Aussi le coefficient d'écoulement et l'érosion observés sur semis de crotalaire sont-ils à peu près ceux enregistrés sur sol nu. Dans le cas d'une pratique culture augmentant la susceptibilité du milieu, repiquage du manioc sur buttes, l'érosion est même plus forte. Seule la plantation d'ananas en ligne suivant les courbes de niveau a une action protectrice nette.

TABLEAU 1  
*Ruissellement et Erosion à Adiopodoumé (Côte d'Ivoire). en 1956 en différentes conditions culturelles et sur sol nu.*

Périodes pluviales	nb. de pluies	Erosion moyenne par pluie en Tonnes/km <sup>2</sup> (E) et coefficient d'écoulement (R.)							
		Crotalaire		Manioc		Ananas		sol nu	
		E	R (%)	E	R (%)	E	R (%)	E	R (%)
1. 11 mai-1 <sup>er</sup> juin		191,5	11,6	406,7	13	19,7		7244,4	9,7
2. 1 <sup>er</sup> juin-11 juin					399	21,8	645,7	22	1388
3. 12 juin-17 juil.		114,5	27,1	234,9	27,4	41	20,7	207,2	29,4
4. 18 sept.-21 dec.		2,6	3,4	21,2	18	8,1	1,9	263,1	26,9

2<sup>o</sup>) Au cours de la seconde période pluviale, le ruissellement et l'érosion s'accroissent en toutes cultures sous l'action des facteurs précédemment signalés à propos de sol nu.

Les coefficients d'écoulement sont analogues a celui enregistré sur sol non protégé. Il en est de même pour l'érosion en culture de manioc sur buttes car celles-ci vont à l'encontre d'une résistance du sol. Mais le développement des crotalaires réalise déjà une protection partielle dont l'effet se fait sentir : l'érosion en ce cas est presque moitié moins forte que sur sol nu. L'ananas réalise la protection la plus efficace, mais la perte en terre qui se produit malgré tout prouve bien que cette seconde période pluviale est par excellence celle de la dégradation du sol en zone tropicale.

3<sup>o</sup>) Les observations que l'on peut faire pour la troisième période sont à peu près les mêmes que celles qui se rapportent à la seconde.

4<sup>o</sup>) Mais au moment de la quatrième période pluviale (à Adiopodoumé, c'est la seconde saison des pluies), le développement de la végétation s'est achevé. Une protection efficace du sol est alors réalisée, même en culture du manioc. L'érosion et le ruissellement sont alors considérablement plus faibles que sur sol non protégé.

### 3. Conclusions

Il ressort de cette analyse que l'érosion du sol en zone tropicale humide se produit surtout pendant une courte période qui fait immédiatement suite aux premières pluies. Un recrudescence de ce phénomène survient en fin de saison humide sur sol non protégé sous l'action de quelques tornades agressives.

La croissance de la végétation atténue la perte en terre. Son plein développement la réduit considérablement et supprime la recrudescence de fin de saison humide.



Pendant cette saison, le ruissellement croît de manière continue avec la saturation du sol lorsque celui-ci ne porte pas de végétation protectrice. En cas contraire, une diminution du ruissellement s'observe au cours de la dernière période pluviale.

L'érosion du sol, d'autre part, se produit en zone tropicale en un laps de temps extrêmement bref. Le nombre des pluies qui ont provoqué l'entraînement de plus de 90 % du poids de terre érodé en un an est de 6 à Niangoloko (1956), de 15 à Adiopodoumé (1956) de 6 à Kankan (1956) et de 10 à Kindia (1956). En moins de 15 journées donc, et l'on peut ajouter en quelques heures seulement, presque toute l'érosion annuelle survient.

Ses facteurs prépondérants sont le volume, la fréquence et l'intensité des précipitations, et surtout l'intensité pluviale maximum enregistrée en une unité de temps très petite (une à quelques minutes).

## II. Influence de la pente.

Deux conclusions majeures peuvent être tirées des premières mesures d'érosion faites à Séfa (Sénégal) en différents degrés de pente, les autres conditions de milieu étant par ailleurs les mêmes :

1<sup>o</sup>) Des érosions très élevées surviennent en tous degrés de pente, même les plus faibles.

En culture mécanisée de l'arachide, la perte en terre s'est chiffrée à 1.494 t/km<sup>2</sup>/an en pente de 1 % (année 1955) et 1728 t/km<sup>2</sup>/an en pente de 2 % (année 1956). A titre de comparaison signalons qu'en un lieu des Etats-Unis ayant quelques similitudes climatiques et pédologiques avec Séfa (Watkinsville-Georgie) et où l'érosion est cataloguée comme grave, il faut atteindre une pente de 3 % pour voir sous arachide continue la pente en terre s'élever à 1321 t/km<sup>2</sup>/an.

En ce même lieu des Etats-Unis, la dégradation spécifique sous engrais vert est de 707 t/km<sup>2</sup>/an en pentes de 7 à 11 %. Or cette même valeur (698 t/km<sup>2</sup>/an est atteinte à Séfa dès la pente de 1 %.

Ce premier fait résulte de la grande susceptibilité du milieu tropical à l'érosion et de l'action puissante des pluies en ce milieu.

2<sup>o</sup>) L'érosion s'accroît notablement dès la moindre augmentation du degré de pente.

La comparaison des dégradations spécifiques enregistrées une même année à Séfa sur les faibles pentes de 1 et 1,5 % montre nettement ce phénomène. Dans des conditions culturales absolument identiques, sorgho-engrais vert en 1955 puis culture d'arachide en 1956, la minime augmentation du degré de pente (0,5 %) a doublé dans le premier cas la perte en terre : pente de 1 % : 698 t/km<sup>2</sup>/an, pente 1, 5 % : 1420 t/km<sup>2</sup>/an, et a provoqué dans le second cas une érosion une fois et demie plus grande : 433 au lieu de 305 t/km<sup>2</sup>/an.

En A.O.F. le facteur pente ne joue donc qu'un rôle réduit dans la naissance de l'érosion mais il exerce une influence marquée sur son développement.

## III. Influence de la végétation.

Il n'est pas nécessaire d'insister longuement sur ce facteur de l'érosion du sol qui revêt également une importance extrême en zone tropicale. Quelques exemples extraits des tableaux de valeurs fournis dans la précédente communication et empruntés aux stations d'étude expérimentale de l'érosion situées en A.O.F. et à Madagascar sont très démonstratifs.

— A Séfa (A.O.F.) en 1955, la dégradation spécifique sous jachère en pente de 2 % ne s'est élevée qu'à 560 t/km<sup>2</sup> alors qu'elle s'est chiffrée à 1494 t/km<sup>2</sup> sous arachide cultivée mécaniquement en pente de 1 %.

— au Lac Alaotra (Madagascar) entre 1954 et 1956, une érosion moyenne de 2372 t/km<sup>2</sup>/an enregistrée sous arachide en pente a été ramenée sur une même pente à 1469 t/km<sup>2</sup> par la culture de fourrages.

— A Kindia (A.O.F.) en 1956, l'existence d'une végétation naturelle herbacée ou d'une plante de couverture en culture d'agrumes a eu pour conséquence une érosion 3 à 5 fois moins forte (562 et 311 t/km<sup>2</sup>) que celle enregistrée sur sol non couvert en même culture (1787 t/km<sup>2</sup>).

— A Adiopodoumé (A.O.F.), en 1956, la culture de flemingia et de crotalaria a diminué l'érosion de plus de moitié par rapport à celle enregistrée sur sol nu : 4250 et 4787 t/km<sup>2</sup> au lieu de 11.770 t/km<sup>2</sup>.

#### IV. Influence de l'Homme.

Une intervention de l'Homme ayant pour conséquence la rupture d'un état d'équilibre en faveur des actions érosives crée en milieu tropical un danger très grave étant donnée la susceptibilité élevée de ce milieu à l'érosion.

L'exemple du résultat de la culture mécanisée de l'arachide à Séfa montre ce danger. Les travaux de défrichement : abattage, andainage, rootage, rootcurrage, ratissage, planage, pulvérisent littéralement la couche superficielle du sol. Les déchaumages et les labours nécessités par la culture se font généralement lors des premières pluies parce que celles-ci permettent un travail plus facile. Ils ont pour effet d'ameublir le sol à l'époque des pluies les plus érosives. Les multiples passages d'engins mécaniques nécessaires ultérieurement créent des voies d'écoulement d'eau. Toutes ces opérations engendrent la plus forte érosion observée en ce lieu entre 1954 et 1956 : 1839 t/km<sup>2</sup>/an pour l'assolement Arachide-Riz-Arachide, alors qu'un assolement très semblable, Arachide-Jachère-Arachide, fait simultanément avec une méthode culturale remuant peu le sol, ne provoque une perte de terre que de 798 t/km<sup>2</sup>/an.

La conservation du sol demande donc une attention particulière en zone tropicale.

#### B. LA CONSERVATION DU SOL EN ZONE TROPICALE.

Les mesures d'érosion du sol entreprises en A.O.F. et à Madagascar doivent aider à juger de la conservation du sol. Elles ont débuté trop récemment pour que des principes généraux puissent être édictés dès maintenant. Mais diverses conclusions peuvent être déjà tirées des données possédées à la fin de l'année 1956. <sup>(1)</sup>.

##### 1. Conservation du sol à l'aide de la végétation.

###### a. Plantages de couverture.

L'effet conservateur des plantes de couverture est très net. Une culture de crotalaires ou de flemingia à plat à Adiopodoumé réduit la perte en terre observée sur sol nu de plus de moitié (4797 et 4250 t/km<sup>2</sup>/An contre 11.770 t/km<sup>2</sup>/an.). Un semis de Dolichos sous agrumes à Kindia réduit de 2/3 la dégradation observée en même culture sans protection du sol (562 au lieu de 1787 t/km<sup>2</sup>/an). En ce second lieu, et toujours en même condition culturale, on constate en outre qu'une végétation

<sup>(1)</sup> Toutes les valeurs qui vont être citées ici sont extraites des tableaux de la communication précédente. Les comparaisons sont évidemment faites pour de mêmes années.

naturelle herbacée a une valeur protectrice égale sinon supérieure à celle des plantes semées. L'érosion mesurée en ce cas a été de 311 t/km<sup>2</sup>/an contre 562 t/km<sup>2</sup>/an.

#### b. Engrais vert.

Au point de vue de l'érosion, l'engrais vert ne répond pas à l'attente mise en lui. A Séfa une jachère est préférable. Elle abaisse la perte en terre à 560 t/km<sup>2</sup> an en pente de 2 % alors qu'en pente de 1,5 % le sorgho-engrais vert laisse place à une perte de 1420 t/km<sup>2</sup>/An. Quant à l'effet sur la culture qui suit, il est à peu près le même : 577 t/km<sup>2</sup>/an en culture d'arachide suivant la jachère, 433 t/km<sup>2</sup>/an en même culture suivant l'engrais vert.

Les mesures faites à Madagascar confirment cette constatation faite en Afrique. Au Lac Alaotra, l'engrais vert vient immédiatement après l'arachide en ce qui concerne la perte en terre, qui ne diminue pas sensiblement. (cf. Tableau 7, communication précédente).

#### c. Culture en bandes alternées.

La culture en bandes alternées est un net progrès sur la culture traditionnelle en A.O.F.

L'arachide cultivée de cette manière, combinée avec une bande de riz une année, avec une bande de sorgho-engrais vert l'année suivante, laisse place à une érosion moyenne de 653 t/km<sup>2</sup>/an alors que cette culture seule, faite par la méthode indigène, provoque une perte en terre toujours supérieure à 1200 t/km<sup>2</sup>/an.

#### d. Cultures conservatrices.

Les premières études d'érosion faites en A.O.F. montrent que l'ananas planté en double ligne avec paillage intermédiaire assure une excellente protection du sol. La perte en terre diminue considérablement au moment de l'année (deuxième période pluviale) où le climat est le plus agressif. Ceci s'observe particulièrement à Adiopodoumé (cf. Tableau 1 ci-dessus) où la dégradation spécifique sous cette plante n'est que de 138,8 t/km<sup>2</sup>/an à cette époque alors qu'elle est comprise entre 400 et 700 t/km<sup>2</sup>/an sous crotalaire, flemingia, manioc et en sol nu. La conséquence est qu'annuellement la perte en terre est trois à huit fois plus faible sous ananas que sous les autres cultures expérimentées.

A Kindia, une observation analogue est faite (cf. Tableau 2 de la précédente communication).

— le riz semé en lignes denses perpendiculaires à la pente diminue également l'érosion. A Séfa, celle-ci est moitié moindre sous cette culture (610 et 621 t/km<sup>2</sup>/an en pente de 1 % que sous arachide en même degré de pente (1494 t/km<sup>2</sup>/an). Mais le ruissellement reste cependant intense, ce qui peut nuire aux surfaces situées en aval : il faut limiter les champs de riz par des fossés d'évacuation d'eau.

Le rôle protecteur du riz de montagne a été également constaté à Sérédou, en Guinée forestière, sur des pentes de 25 %. Sur défriche forestière récente, et en cas de culture traditionnelle (léger grattage de la couche humifère), la fertilité encore intacte du sol provoque une croissance rapide de la plante qui couvre efficacement celui-ci en deux ou trois semaines. Le système racinaire du riz influe en outre de manière favorable sur la structure du sol (cf. Tableau 4 de la précédente communication).

#### e. Assolements conservateurs.

Les recherches à ce sujet sont en cours en différents lieux d'Afrique et de Madagascar, aussi est-il prématuré de fournir des résultats. Cependant, déjà, l'intérêt d'une jachère est apparue à Séfa (A.O.F.). A Madagascar, au Lac Alaotra, deux assolements expérimentés avec fourrage et engrais vert (cf. Tableau 7, précédente

communication) laissent place à des dégradations spécifiques moyennes de 2046 et 1472 t/km<sup>2</sup>/an. Cette érosion élevée ne peut être contrebalancée que par l'introduction de deux ou trois ans de prairie dont l'effet bénéfique apparaît.

## 2. Lutte contre l'action du ruissellement en faible pente.

La diminution du ruissellement, tant en ce qui concerne son volume que sa vitesse, contrecarre l'érosion. En zone tropicale, la culture en billons s'avère efficace en faible pente pour atteindre ce but..

A Niangoloko, où les recherches à ce sujet ont surtout été effectuées, on constate que la perte en terre est diminuée de plus de cinq fois si, en pente de 2,5 %, on cultive l'arachide sur billons parallèles aux lignes de niveau avec desherbage total au lieu de la cultiver à plat sans desherbage (122 au lieu de 541 t/km<sup>2</sup>/an). Ceci est dû au stockage de l'eau et à son écoulement à une vitesse non érosive : le coefficient d'écoulement annuel est ramené de 10 % à 2,7 %.

Le coton et toutes les plantes cultivées sur billons aveugles (tie-ridging) stoppent également l'érosion à Séfa. C'est avec leur utilisation que se mesurent le plus faible ruissellement (coefficient d'écoulement annuel de 0,6 %) et la plus faible dégradation du sol en ce lieu (47 t/km<sup>2</sup>/an).

## 3. Lutte contre l'action du ruissellement en forte pente.

La violence des précipitations est très grande en zone tropicale et une hauteur d'eau élevée parvient souvent au sol en un laps de temps très bref. La fragmentation des écoulements volumineux est alors nécessaire pour lutter contre l'action du ruissellement : l'établissement de terrasses à lit en pente avec fossés de diversion répond à ce besoin. C'est pour cette raison que l'on a presque toujours donné aux champs expérimentaux utilisés pour mesurer l'érosion une longueur égale à la largeur <sup>(1)</sup>. qu'auraient de telles terrasses en fonction de la pente.

Les valeurs d'érosion citées au cours de la précédente communication sont donc en relation avec un éventuel terrassement. Elles montrent que celui-ci seul ne suffit pas puisque sur sol non protégé l'érosion est dangereuse. Il faut obligatoirement utiliser les possibilités qu'offrent la végétation et les méthodes culturales.

La réciproque n'est cependant pas toujours exacte. On peut observer en Afrique qu'une méthode culturale convenablement choisie rend parfois inutile la construction de terrasses. Ainsi, les études faites à Sérédou montrent qu'en pente de 25 % des fossés isophyses cloisonnés ont autant d'efficacité que des banquettes de 1 mètre de large sur une longueur de pente (30 mètres) nettement supérieure à la largeur d'une quelconque terrasse. Ils réduisent de 2/3 l'érosion observée sur sol non protégé en culture du quinquina (cf. Tableau 4, précédente communication).

Ces quelques indications sur la conservation du sol en Afrique Occidentale française et à Madagascar sont très incomplètes. Ceci provient de ce que la mesure de l'érosion ne fait que débiter dans ces territoires. Mais elles démontrent toute l'importance que revêtent cette mesure et l'étude des facteurs de l'érosion. Les recherches en ce domaine permettent d'évaluer l'évolution du milieu naturel et fournissent les bases scientifiques de l'utilisation rationnelle du sol par l'Homme.

(1) Cette largeur s'obtient par la formule de Ramser : Dénivellée entre deux fossés en « pieds » =  $\frac{\text{Pente en } \%}{4} + 2$ .



# FACTORS AFFECTING RAINFALL EROSION AND THEIR EVALUATION (\*)

DWIGHT D. SMITH \*\*

## SUMMARY

This paper discusses the four basic factors affecting the rate of surface erosion: slope, cover, soil, rainfall, and the evaluation of them by use of fractional acre plots with both natural and simulated rainfall. A method of relating soil losses from these plots to farm sized fields is briefly presented. The use of punch cards in a central statistical laboratory and of multiple correlation and related statistical analyses for evaluation of factors and practices from a widely scattered group of runoff and erosion stations, is described. An example of the possibilities of this approach is a recently developed regression equation which accounts for over 90 percent of the variation in individual storm soil losses from fallow plots by four parameters of rainfall energy and intensity.

The identification and evaluation of factors affecting runoff and soil erosion began in the United States about 40 years ago with the development of measurement techniques and equipment, and the installation of test plots. The Forest Service began their first measurements in Utah in 1915. In 1917, Professor M. F. Miller of the Soils Department, University of Missouri, laid out the first plots for measuring runoff and erosion as affected by different farm crops.

Runoff and erosion had been recognized much earlier than the first attempts of quantitative measurement. It was mentioned in early writings of George Washington and Thomas Jefferson, and the first broadbase field terraces for control of runoff and erosion were built by P. M. Mangum, a farmer near Wake Forest, North Carolina, in 1886. The extent, causes and results of advanced erosion were discussed in a 1913 publication (\*) of the Bureau of Soils, U. S. Department of Agriculture. Several State Agricultural Experiment Stations gave attention to the problem in the early 1920's. Ten Federal-State Experiment Stations for measurement and study of soil erosion in the more critical areas of the United States were started by H. H. Bennett and L. A. Jones of the U. S. Department of Agriculture during the period 1928-33. The studies were later expanded to a total of 44 locations, 20 of which presently are in operation.

Fractional-acre plots varying in width from 6 to 22 feet and in length from 70 to 100 feet, as shown in figure 1, were generally used except for length-of-slope study plots. Farming operations were either by hand or field-sized equipment and either up-and-down slope or on the contour. Total amounts of runoff and soil loss per storm were determined except in a few cases where 2 or more storms were combined for a soil-loss measurement. Very few plots have been equipped to measure rate of runoff. In practically all studies, meteorological measurements have been limited to those made by recording-type instruments for rainfall and snow and maximum- and minimum-temperature reading.

The small-plot-type studies were necessary due to space, personnel and financial limitations and the large number of slope, soil, climate and cover variables to be studied. This has often resulted in questions concerning the applicability of the data

(\*) Paper to be presented at the International Union of Geodesy and Geophysics Assembly to be held in Toronto, Canada, September 3-14, 1957.

(\*\*) Agricultural Engineer, Soil and Water Conservation Research Division, Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture, Beltsville, Md.

to field-sized areas. In a few cases, small primary watershed studies with areas ranging from one to ten acres were included for direct correlation.

A rainfall simulator of field-plot size, as shown in figure 2, has been developed by the Soil and Water Conservation Research Division to hasten evaluation of soil, slope, cover and management practices. This will eliminate much of the delay frequently experienced in natural rainfall studies. At its present level of development, the machine will apply water at either 2.4 or 4.8 inches per hour with a constant level of energy per inch of applied water.



Fig. 1 — Fractional acre plots with multislot divisor units for measurement of runoff and soil loss from cropping study plots at the Southern Piedmont Experiment Station, Watkinsville, Georgia.

#### A CENTRALIZED DATA SUMMARY LABORATORY

Early analysis of data was generally by individual investigators at a particular location. As data became more voluminous, the need arose for a central location where large masses of data could be handled by modern computing machine methods. An organizational meeting was held at Iowa State College in 1953 where both Federal and State research and field workers met and laid the foundation for the runoff and soil loss data summary laboratory at Lafayette, Indiana. This laboratory is a project of the Soil and Water Conservation Research Division of the Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture in cooperation

with the Indiana Agricultural Experiment Station, Purdue University and other cooperating State Agricultural Experiment Stations throughout the country.

Runoff and soil loss data from 35 locations have been forwarded to the laboratory and transferred to punch cards. W. H. Wischmeier, who is in charge of the project, in the first published article (11), described the work and stated that the data included approximately 65,000 individual storms, 8,250 plot-years and 2,500 watershed-years



Fig. 2 — The field plot size rainfall simulator developed by the Soil and Water Conservation Research Division, Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture in cooperation with the Indiana Agricultural Experiment Station, Lafayette, Indiana. Water is directed downward under pressure to secure desired energy of impact.

of runoff data and nearly as many soil loss records, since all plots and most of the watershed stations were equipped for soil loss measurements. For five of the locations, the period of record exceeded 20 years, and for twenty-one locations, it ranged from ten to twenty years. Current data will be added annually from more than 500 plots and small watersheds.

The assembled data are punched into three cards as follows :

Card No. 1 Annual runoff, soil loss, crop yield, treatment, cropping, plot description.

No. 2 Precipitation data for individual storms.

No. 3 Runoff, soil loss and related data by individual storms.

## EVALUATION OF BASIC FACTORS

There has been general agreement among most investigators that the four basic factors affecting runoff and erosion are :

1. Topography or, more specifically, length and percent of slope.
2. Climate, especially rainfall.
3. Soils.
4. Cover.

Farm practices also affect losses and often modify one or more of these basic factors. Conservation practices such as terracing and contouring modify slope. Soil and crop-management practices such as tillage, mulching, and rotation modify soils and cover. Only climate has been considered as unalterable. However, there is increasing evidence that increases in rainfall runoff and erosion are associated with irrigation in the humid region.

*Topography.* Investigations related to this factor so far have been confined to measuring the effects of length and percent of slope on runoff and erosion. They are, no doubt, the most important characteristics of topography, although transverse curvature of slope undoubtedly has an effect on losses. Concave slopes, where runoff concentrates as it moves down the slope, can reasonably be expected to be more critical than convex slope where the runoff tends to spread as it flows down the slope.

*Percent Slope.* A comprehensive study of the effect of percent slope on erosion was published by Zingg (<sup>14</sup>) in 1940. He coded data from Duley and Hays in Kansas and Diseker and Yoder in Alabama and included studies of his own at Bethany, Missouri. In all cases, water was applied artificially to a rather limited range of slopes. He concluded that soil loss varied as the percent slope to the 1.4

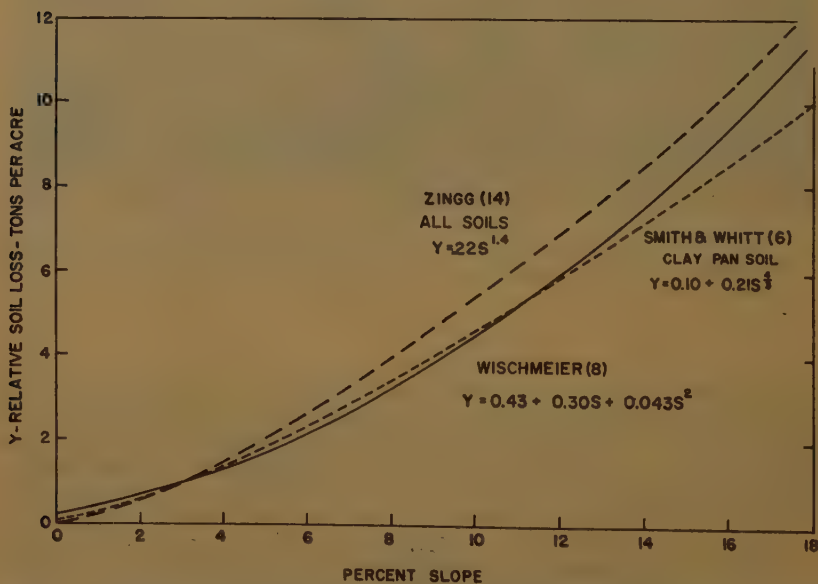


Fig. 3 — Three equations that have been used to describe the percent slope-soil loss relationship.



power. This relationship has been extensively used in application of conservation practices. The Zingg equation, however, indicates zero soil loss on a zero percent slope, a condition that does not exist in the field. Smith and Whitt <sup>(6)</sup> suggested a modification of the equation by including an additive constant for the Midwest claypan soil with their 0-5 percent slopes.

Wischmeier <sup>(8)</sup> developed a parabolic relationship for the percent slope soil loss relationship using data secured under natural rainfall at 3 Midwest locations. He found that data of Zingg <sup>(11)</sup>, Borst, and Woodburn <sup>(2)</sup> secured in simulated rain studies also fit this relationship somewhat closer than they did the exponential equation. A contributing factor to this improved fit may be the fact that most of the data was secured under contour operations. There is experimental evidence that contouring is most effective at slopes of 6-8 percent and that the practice decreases in effectiveness as the slope either decreases or increases, thus producing a percent slope soil loss equation with greater curvature than for up-and-down-slope operation. This is shown in Figure 3.

*Length of Slope.* In his study of the slope length soil loss relationship, Zingg <sup>(14)</sup> concluded that total soil loss varied as the 1.6 power of the length for strips of constant width and soil loss per unit area as the 0.6 power of the length. This was based on a study of data from Missouri, Oklahoma, Iowa, Wisconsin, and Texas. A later study under the direction of Musgrave <sup>(4)</sup> proposed 0.35 as the average value of the slope-length exponent.

Recently a group of technicians, considering an analysis by Wischmeier, <sup>(13)</sup> concluded that for field use, the value of the exponent should be  $0.5 \pm 0.1$ . Wischmeier's study was based on 532 plot-years of slope-length data at eleven locations. Length in most cases was limited to 145 feet, although one location had a 270-foot and another a 630-foot plot. The value of the exponent by location varied from 0 to 0.90. It also varied widely from year to year at the same location. The two locations with a zero exponent were the same two locations that showed a significant decrease in runoff with slope-length increase. The two locations with the highest slope-length exponents (average of 0.74) showed a significant increase in runoff with increase in slope-length. In the majority of the locations, however, runoff was not significantly related to slope-length.

*Climate.* Rainfall, wind and temperature are elements of climate that effect runoff and soil loss. Wind-driven rainfall could logically be expected to attain greater than normal velocity and thus greater than normal energy and power to erode soil. Wind measurements, although made at a few locations have not been considered in analysis of rainfall erosion. Climatic measurements have included recording rainfall records from which intensity, amount, and duration were secured. Temperature records have included minimum and maximum daily readings.

Correlation studies have been made at several locations in an effort to describe erosion in terms of rainfall intensity, amount, and duration. While significant effects were in evidence, the total variation explained by these factors was not high enough to be of much value as an erosion prediction equation. At the Lafayette, Indiana laboratory, a rainfall energy term based on a derived relationship between rainfall intensity and kinetic energy <sup>(12)</sup> was added to the list of rainfall characteristics.

A group of 19 independent variables, all measuring rainfall characteristics or interactions of combined characteristics, were selected by Wischmeier for a simultaneous multiple correlation study using the electronic digital computer at Purdue University. This was in reality a mass screening test to identify important rainfall parameters which would account for most of the individual storm-runoff and soil loss variations. The results of the tests showed that the most important single measure

of the erosion-producing power of a rainstorm was the product, rainfall energy times maximum 30-minute intensity; for runoff, it was rainfall energy adjusted for 24-hour antecedent precipitation. The results of these tests for three soils, reported by Wischmeier and Smith (<sup>12</sup>) are shown in table 1.

TABLE 1

*Percent of total soil loss variation for fallow plots explained by various rainfall characteristics and combinations of characteristics.*

Variable	Shelby Soil 8 % Slope 138 Observations	Marshall Soil 9 % Slope 131 Observations	Fayette Soil 16 % Slope 144 Observations
	%	%	%
(1) Amount of rain	73	39	42
(2) 15 min. intensity	43	50	55
(3) 30 min. intensity	56	56	80
(4) (1), (2), & (3)	79	66	83
(5) Rainfall energy	82	55	62
(6) Interaction-product of (3) × (5)	89	71	88
(7) 4 Variables ( <sup>1</sup> )	92	79	88

(<sup>1</sup>) Rainfall energy, energy times 30-minute intensity, total energy since last cultivation, and antecedent precipitation index.

The regression equation for Line (7) table 1 for the Shelby soil is as follows:

$$Y = .00163 X_e + .00389 X_i + .0622 X_c + .438 X_p - 2.46$$

Y=soil loss per storm in tons per acre.

$X_e$ =Kinetic energy of the rain in foot-tons per acre — a measure of the soil detaching power of the storm.

$X_i$ = $X_e$  times maximum 30-minute intensity in inches per hour — a measure of the decreasing infiltration rate during a storm and the increasing effect of surface flow.

$X_p$ =Antecedent precipitation index — a measure of the point on the time-infiltration rate curve at beginning of storm or soil moisture content.

$X_c$ =Accumulated rainfall energy since last cultivation — a measure of soil compaction, surface crust or seal, etc., at start of storm.

A detailed discussion and interpretation of the equation is given in another paper (<sup>12</sup>). This equation and others of the same type will enable full use of short-time plot records and increase the accuracy of soil, cover, slope and practice evaluation. They may also be used for development of normal rainfall factors for a particular area.

*Soil.* A basis for soil erodibility factors was first developed in 1945 by a group of soil conservation research workers under the direction of Musgrave(<sup>4</sup>). Annual losses in inches, on a continuous row crop basis, for 20 locations, were adjusted to a common slope and a common 30-minute rainfall amount. Later evaluation

of soil factors were made for the Midwest using soil loss data from plots in a corn-small grain-meadow rotation. Interpolations for soils on which soil loss data were not available were made by considering soil characteristics related to potential erodibility. No attempt was made by the Midwest group to correct for differences in rainfall. It was assumed that rainfall experiences at the different stations (were representative of long-time records. The factors thus determined were actually combined rainfall-soil factors. This confounding of factors was recognized, but no ready method of correction was available at that time. Direct evaluation of soil factors under natural rainfall has been complicated by the fact that different soils do not exist in close proximity to each other.

Development of the new equations for estimating individual storm soil loss in terms of rainfall characteristics offers a new and improved approach to the determination of relative soil erodibility. Preliminary use of the method by Wischmeier shows both agreement and disagreement with previous factors as shown in table 2 (13).

TABLE 2

*Soil factor values developed by different methods for a few Midwest soils*

Soil	Group Study (4) 1945	SCS Cornbelt (9) 1956	Rainfall Characteristics Equation (13) 1957
Marshall	1.00	1.00	1.00
Shelby	1.06	1.25	1.20
Fayette	1.36	1.25	1.07
Memphis	.64	1.50	—
Mexico	1.18	1.25	—

The relatively small change for the Shelby factor in relation to the Marshall is probably because of the proximity of location and consequently the occurrence of many of the severe storms at both locations. A rather large difference is indicated for the Fayette soil at LaCrosse, Wisconsin. Rainfall characteristics indicated the storm experience at LaCrosse had a higher erosion-producing potential than for the other two stations. This method for evaluation of soil erodibility will be used extensively in the immediate future to develop a more complete list of factors.

*Cover.* Unlike the other basic factors affecting erosion, cover is readily manipulated to produce wide variations in rates of erosion. Under natural conditions, cover was of either prairie or timber type and erosion was not a problem. The more seriously eroded areas in the United States have been those in which clean-tilled crops were grown more or less continuously on sloping land. From an agricultural standpoint, cover involves pasture and crop rotations. Early plot studies were primarily for evaluating different crops and crop sequences. Sod-based rotations proved very effective and developed as the principal agronomic practice for erosion control in the Midwest. This practice is now being emphasized for similar adoption in the South. The wide range of soil loss as secured by variations in cropping is shown in table 3.

TABLE 3

*Annual runoff and soil loss from small plot studies on two soils of the Midwest*

Cropping System	Rainfall	Runoff	Soil Loss per acre
	Inches	Inches	Tons
Shelby loam <sup>(1)</sup>			
Continuous Corn	29.5	8.2	50.9
Corn-wheat-meadow	29.5	4.9	9.1
Bluegrass	29.5	2.4	.2
Mexico silt loam <sup>(2)</sup>			
Corn-oats	39.2	11.7	6.1
Corn-oats and sweet clover	39.2	8.4	3.1
Corn-wheat-clover hay	39.2	7.9	2.0
Corn-wheat-grass and legume hay	39.2	8.4	1.7
Corn-wheat-grass and legume hay-grass and legume hay	39.2	8.4	1.1
Wheat and lespedeza pasture	39.2	9.2	2.2
Bluegrass and legume pasture	39.2	6.8	.3

<sup>(1)</sup> 8% slope, corn stalks removed, no fertilizer used, plots 6' × 72.6', up-and-down slope farming, 10-year period, 1931-40.

<sup>(2)</sup> 3% slope, residues returned, plots 10-1/2' × 90', up-and-down slope farming, 10-year period, 1941-51, all rotations below corn-oats received soil treatment.

The strong and weak periods of a cropping season are revealed by dividing the rotation losses into crop period losses as shown in table 4.

Another aspect of cover to be considered is the effect of mulch culture on runoff and erosion. Preliminary results indicate erosion under cultivated crops may be reduced by nearly 60 percent by sub tillage and use of a crop residue mulch of 2 to 3 tons per acre or greater. The use of sub tillage, mulches, high fertility treatment and other soil management practices used with continuous row crops are materially reducing the high losses shown for continuous corn in tables 3 and 4.

#### THE SLOPE-PRACTICE METHOD

The quantitative evaluations of the factors affecting erosion have been combined with conservation-practice values into a rational equation for estimating soil loss. Tables prepared by solution of the equation are used extensively in the development of conservation farm plans as a means of limiting soil loss to a tolerable level. The equation is also used for estimating sediment production rates in the design of flood prevention structures.

The soil loss estimating equation is an outgrowth of a graphical method of applying practices published by Smith <sup>(6)</sup> in 1941. It was further developed by



TABLE 4  
Runoff and soil loss by crop periods for 4 systems listed in table 3.

Crop or Cover	Crop Period		Runoff	Soil Loss per acre
	Dates	Rainfall		
		Inches	Inches	Tons
Corn <sup>(1)</sup>	4/16-9/30	19.6	5.7	37.3
Corn stubble	10/1-4/15	9.9	2.3	13.6
Ann.	1/1-12/31	29.5	8.0	50.9
Corn <sup>(1)</sup>	4/16-9/30	19.6	4.1	16.0
Wheat	10/1-6/30	19.0	4.4	8.7
Meadow	7/1-4/15 <sup>(3)</sup>	49.9 <sup>(3)</sup>	5.9	2.5
Rotation Aver.	1/1-12/31	29.5	4.8	9.1
Corn <sup>(2)</sup>	4/27-10/8	23.2	5.5	6.9
Corn stalks	10/9-3/28	12.5	4.5	1.0
Oats	3/29-7/3	14.2	5.1	3.2
Oat stubble	7/4-4/26	28.5	8.4	1.1
Rotation Aver.	1/1-12/31	39.2	11.7	6.1
Corn <sup>(2)</sup>	4/27-10/7	23.2	3.6	3.0
Wheat	10/8-6/28	26.3	6.4	2.3
Clover hay	6/29-4/26 <sup>(3)</sup>	68.0 <sup>(3)</sup>	13.6	.8
Rotation Aver.	1/1-12/31	39.2	7.9	2.0

<sup>(1)</sup> Shelby soil of table 3.

<sup>(2)</sup> Mexico soil of table 3.

<sup>(3)</sup> Approximately 22 month period.

Browning <sup>(1)</sup> and others in Iowa, Smith and Whitt <sup>(7)</sup> in Missouri, and Van Doren and Bartelli <sup>(10)</sup> in Illinois. The equation is as follows:

$$A = C S L K P$$

$A$  is estimated annual field loss in tons per acre. In the evaluation of a conservation farm plan  $A$  is the unknown. In selection of a conservation or soil management practice, a limiting value generally between 2 and 5 tons per acre is selected for  $A$ , and the equation solved for  $C$  using trial values of  $P$ .

$C$  is average annual plot loss in tons per acre for a selected rotation with up-and-down slope farming as shown in table 3.

$S$  and  $L$  are relative factors for percent and length of slope developed from the relationships previously discussed but adjusted to unity value for the percent and length of slope of the plots from which the  $C$  values were secured. The percent slope used in determining the factor  $S$  is the dominant slope of the field under consideration. The length of slope used in determining  $L$  is the average distance of overland flow to a waterway or the point where the slope begins to flatten. When the field is terraced, it is the horizontal spacing of the terraces.

$K$  is a soil factor similar to those in table 2 but adjusted to unity value for the soil of the plots from which the  $C$  values were secured.

$P$  is a conservation practice factor for contour farming both with and without terraces or for strip cropping. It is the ratio of soil loss with the practices to the loss without it.

The basic principle of the equation is that each term on the right, other than the cover factor  $C$ , corrects for any difference that may exist between the field in question and the plots from which the factor  $C$  originated for the particular physical condition described by the factor. Thus for each field condition identical to the corresponding condition on the plot, the factor value is unity.

Since soil management practices do not apply equally to all crops of a rotation, their factors cannot be used similarly to conservation practice factors except with continuous cropping. They are applied to individual crops of a rotation and a new cover factor  $C$  computed for the rotation.

For field use in the Midwest (<sup>9</sup>) a base table was prepared for each of the practices: up-and-down hill, contouring, strip cropping and terracing. For a given combination of field slope-length and percent, the field man selects a numerical value from any of the tables except terracing in which case he uses the horizontal terrace spacing instead of the field slope length. This value is the expected soil loss for the  $S$ ,  $L$ , and  $P$  factors existing on the field, unity soil factor, and the cropping system and plot physical condition used as a base in preparing the tables. By dividing this value by a rotation-index value for the appropriate soil factor  $K$  selected from a second table, the expected field soil loss for the new rotation is determined. Another method of use is to divide the numerical value selected from the slope and conservation practice table by a limiting value of  $A$ . This gives the value of the rotation-index for the most intensive rotation to be recommended. Any rotation with an index larger than this value would be satisfactory as the estimated soil loss would be less than the maximum allowable loss.

The tables referred to above were prepared with a base soil loss of 8 tons per acre per year for the 3-year rotation: row crop-spring grain meadow, on a 9% slope plot 72.6 feet long, unity soil factor, farmed up-and-down slope and with only moderate treatments. The 8 ton value is the average loss for the 3-year rotation based on 198 plot-years of data from stations at LaCrosse, Wisconsin; Clarinda, Iowa; Bethany and McCredie, Missouri; Zanesville, Ohio; and Dixon Springs, Illinois after adjustment for slope and other difference. The range of years and locations included was assumed to provide a representative timing and occurrence of storms relative to critical erosion periods with the rotation.

A rainfall factor was not included in the equation nor in the tables described in the preceding paragraphs because in the soil factors currently used, soil effect is confounded with rainfall effect. With development of soil factors without the rainfall influence as discussed in a preceding section and evaluation of normal rainfall factors for specific locations, the rainfall factor will be included. It is believed that the work by Wischmeier during the past year at the Lafayette, Indiana laboratory in identification of rainfall characteristics and in their evaluation will do much to increase the accuracy and utility of the erosion estimating equation.

## BIBLIOGRAPHY

- (<sup>1</sup>) BROWNING, G. M., PARISH, C. L., and GLASS, J. A. A Method for Determining the Use and Limitation of Rotations and Conservation Practices in Control of Soil Erosion in Iowa. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 39: 65-73 (1947).
- (<sup>2</sup>) BORST, H. L., and WOODBURN, R. Rain Simulator Studies of the Effect of Slope on Erosion and Run-Off. *SCS TP-36*, August, 1940.

- (3) CARR, M. EARL, et al. Soil Survey of Fairfield County, South Carolina. U. S. Department of Agriculture, Bur. Soils, 1913: 27 pp.
- (4) MUSGRAVE, G. W. The Quantitative Evaluation of Factors in Water Erosion — A first Approximation. *Jour. Soil Water Conserv.* 2: 133-138 (1947).
- (5) SMITH, D. D. Interpretation of Soil Conservation Data for Field Use. *Agr. Engin.* 22 (5): 173-175, May 1941.
- (6) SMITH, D. D., and WHITT, D. M. Estimating Soil Loss from Field Areas of Claypan Soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 12: 485-490, (1947).
- (7) SMITH, D. D., and WHITT, D. M. Evaluating Soil Loss from Field Areas. *Agr. Engin.* 29: 394-96 (Sept. 1948).
- (8) SMITH, D. D., and WISCHMEIER, W. H. Factors Affecting Sheet and Rill Erosion. *Transactions, American Geophysical Union* 38 (6): 889-896 (Dec. 1957).
- (9) U. S. Department of Agriculture, Soil Conserv. Serv. Ready References for Conservation Farm Planners, Milwaukee, Wisc. Revised, 1956.
- (10) VAN DOREN, C. A., and BARTELLI, J. J. A Method of Forecasting Soil Loss. *Agr. Engin.* 37(5): 335-341, May 1956.
- (11) WISCHMEIER, W. H. Punched Cards Record Runoff and Soil Loss Data, *Agr. Engin.* 36(10): 664-666 (Oct. 1955).
- (12) WISCHMEIER, W. H., and SMITH, D. D. Rainfall Energy and Its Relation to Soil Loss. Submitted for publication in *Transaction AGU* (1957).
- (13) WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D., and UHLAND, R. E. Evaluation of Factors in the Soil Loss Equation. Submitted for publication in *Agr. Engin.* (1957).
- (14) ZINGG, A. W. Degree and Length of Land Slope as it Effects Soil Loss in Runoff. *Agr. Engin.* 21(2): 59-64 (Feb. 1940).

# SOIL-EROSION AND WATER RUN-OFF ON OPEN GROUND AND UNDERNEATH WOOD

*Studied and classified according to geomorphological characteristics*

DOZENT DR. LUDWIG HEMPEL

Münster  
(Germany)

## SUMMARY

These lines are to show that besides the methods of hydrology and soil-science also the geomorphological method of investigation can make far-reaching statements about the kind and the extension of soil-erosion and about the run-off of water. This method has the advantage that it is possible to get with its help an usable survey of the conditions of a large area in a short space of time. The degree of accuracy is likely to be sufficient for most of the practical necessities. Beyond this, soil-science and hydrology will be in a position to use the results for a first information which will enable them to choose the most suitable places for the working out of details with more accurate methods of investigation.

## 1. OBSERVATIONS OF SOIL-EROSION ON OPEN GROUND USING GEOMORPHOLOGICAL METHODS.

Ever since men started ploughing the ground the soil has been subject to especially strong degradation. Stimulated by the numerous investigations of soil by KURON concerning the type and the dimension of soil-destruction by water, the author has tried to find — with the help of *geomorphology* — a method enabling him to register and to systematize *the contemporary erosional forms of tilled grounds*. Making these investigations the author did not intend to study the mechanism of degradation from a hydrological and a soil-scientific point of view. The stress of these studies was merely laid on the extension and the approximate dimension of this process. The following classification of the forms caused by average precipitation proved to be convenient:

- degree 1: Leveling within the same field from higher to lower parts; only slight fluidal structures.
- degree 2: Furrows and runnels up to a depth and breadth of 10 centimetres; degradation exceeds the boundaries of a field.
- degree 3: Furrows and runnels bigger and deeper than 10 centimetres; degradation exceeds the boundaries of a field.

With the help of this method, which takes into account both erosional forms and alluviations, it was possible to map out large areas of the «Norddeutsche Berg- und Hügelland» within a relatively short space of time and with only small expenses.

The results have been recorded as well in the form of diagrams (illustrations 1 and 2) as in the form of maps (see HEMPEL, 4, and map 1). The diagrams have the advantage of quickly giving an impression of the possible degradation in larger areas already explored by soil-science. On the whole the results were proved which other scientists had got for smaller areas. The areas with soil-erosion cover 15-50 per cent of the arable land of the «Nord- und Mitteldeutsche Berg- und Hügelland» — the percentage being dependent on the type of soil. On fields of equal length (gathering



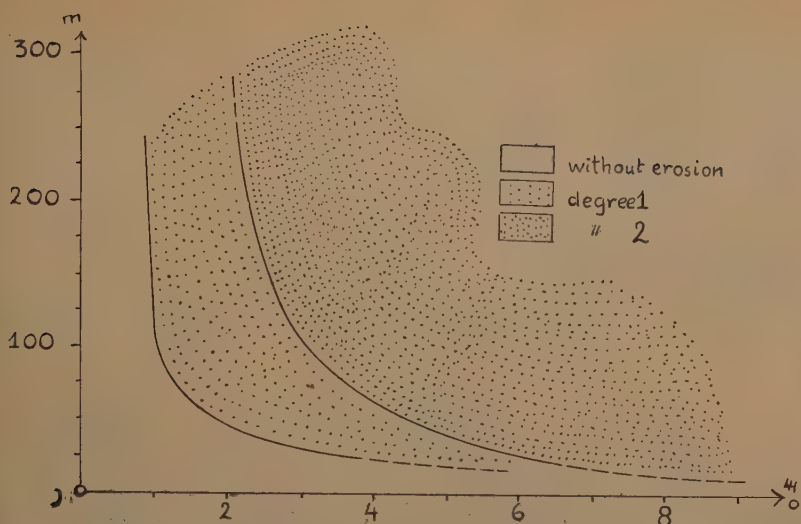


Fig. 1 — Diagram of soil-erosion; soil: loess-loam; cultivation vertical to the isohypses; ordinate: length of fields; abscisse: angle of slopes.

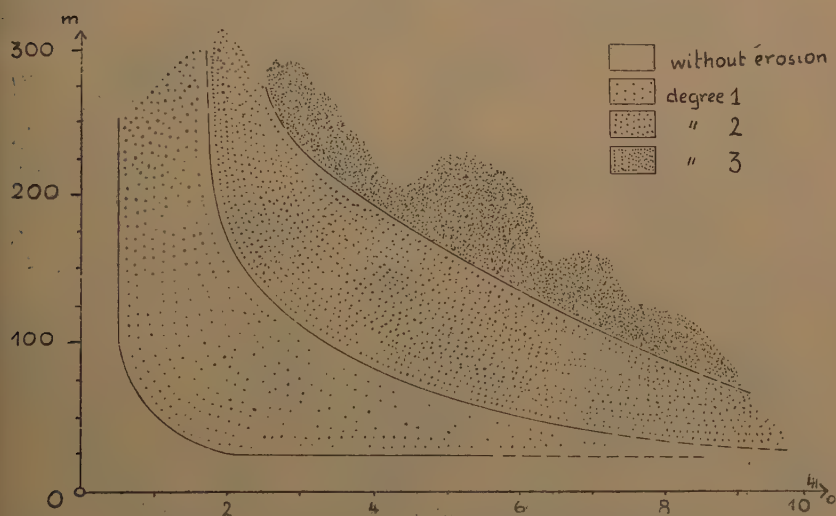


Fig. 2 — Diagram of soil-erosion; soil: loess-loam; cultivation parallel to the isohypses; ordinate: length of fields; abscisse: angle of slopes.

ground) and with the same gradient of slope the following order of susceptibility of the different types of soil to erosion will be found (see also: HEMPEL, 1,3):

Loess	great susceptibility to soil-erosion
Sandy loam	
Clayed loam	
Clay	little susceptibility to soil-erosion



Map 1 — Soil-erosion; Section of a larger map of Northern-Germany; mapped out by Lena Hempel 1952.

Explanation of signature: vertically ruled: degree 1  
checked : degree 2  
black : degree 3

It is a rather remarkable fact that clay only shows a slight susceptibility to degradation by water — the precipitation being normal. These findings are contrary to those of other scientists, who have found that the danger of erosion is especially great for clay— to be sure these observations were made after heavy raining. Of general interest for the recommendations given by hydrology, soil-science and agriculture to the farmers about the direction in which to till their fields, was the following surprising fact: *On a field which was ploughed parallel to the contourlines a greater erosion took place than on a field with the ploughing direction vertical to the contourlines — the gradient of slope being in both the cases about 5-7°*. It seems to me that these conditions which were found in Germany and were proved again and again by own extensive observations in Europe (France, Russia, Spain) are of great consequence with regard to the practical importance of the soil-erosion research work and I think that they furthermore should be examined on a broad scale.

## 2. AREAL SOIL-EROSION UNDERNEATH WOOD

During the last years a more exact study of *soil-erosion underneath wood* was made possible by the financial help of the «Deutsche Forschungsgemeinschaft» (see: HEMPEL, 6). Although today the scale of observations is still small and includes only wood on sandstone. The results can be considered as being representative of the fact even underneath wood a remarkable soil-erosion exists. The investigations took place in:

1. areas on which up to then only broadleaf wood had been growing,
2. areas on which after broadleaf wood the first generation of spruces is growing and
3. areas on which we find already the second generation of spruces.

The results can be summed up as follows: The forms of degradation and o upbuilding prove, that *also underneath wood soil-erosion of an extensive areal form can be found. But according to the hitherto existing observations this erosion takes only place underneath spruces. Underneath deciduous forests no traces of soil-erosion have been found yet.*

It is quite certain, that this fact is connected with *the structure of the cover of rotten leaves* (Streudecke) and its influence on the mineral ground; it is, therefore, as well a physical as a chemical process.

Without going into details it may just be indicated that the compact packing of leaves on the mineral ground of deciduous forests and the absorptive capacity of this zone of mould and mull (Mull-Moder-Zone) forms a certain protective layer against running water (illustration 3). Such a layer does not exist underneath spruces (for more details see: HEMPEL, 5). In general we do not find here such a close connection between the more minerogen soil-horizon and the layer of humus as we do in deciduous forests. Boughs and needles of spruces rot more slowly than do leaves, so that a compact layer of humus which covers the mineral ground does not exist (see illustration 4). The raw humus which results from mouldering needles of spruces is usually clearly separated from the sandstone ground and it partly lies upon it so loose that the rain-water can easily and swiftly run off on the contact surface between both zones.

Besides this merely mechanical cause the different chemical transmutations of the uppermost soil-horizons underneath deciduous forests respectively coniferous forests are likely to be important. Caused by the great amount of acid humus a quick impoverishment of the uppermost soil-horizon takes place underneath coniferous forests. An increased wandering off of lime — made known by a drop of the

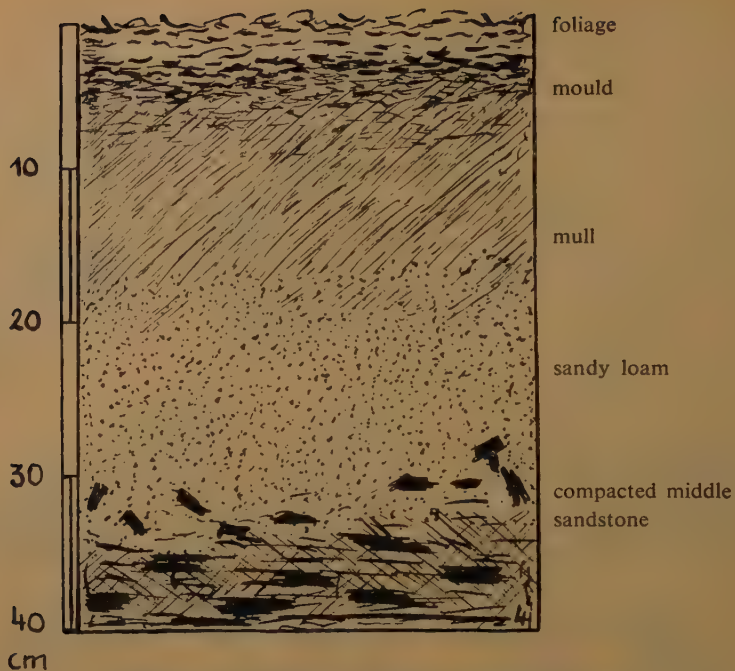


Fig. 3 — Profile of soil in Staatsforst Holzminden I; beech-wood.

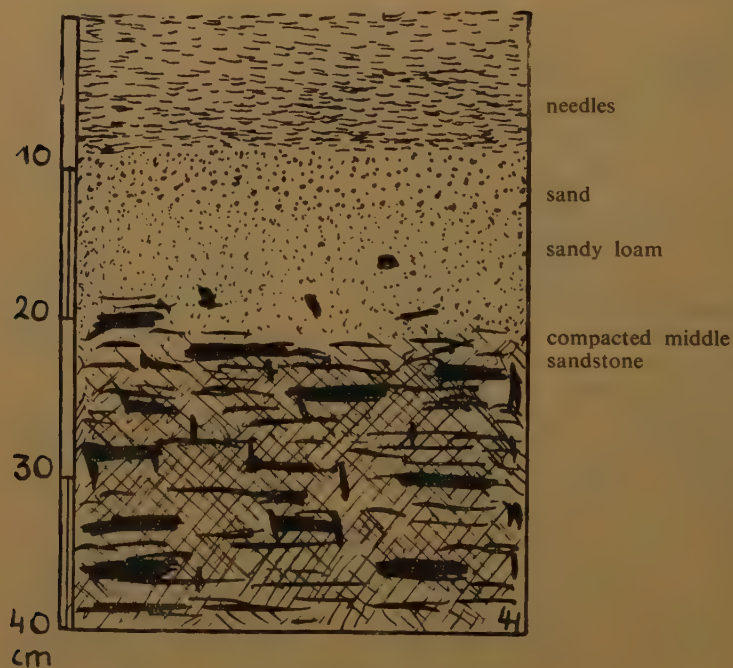


Fig. 4 — Profile of soil in Staatsforst Holzminden I; second generation of spruce-wood after beech-wood.



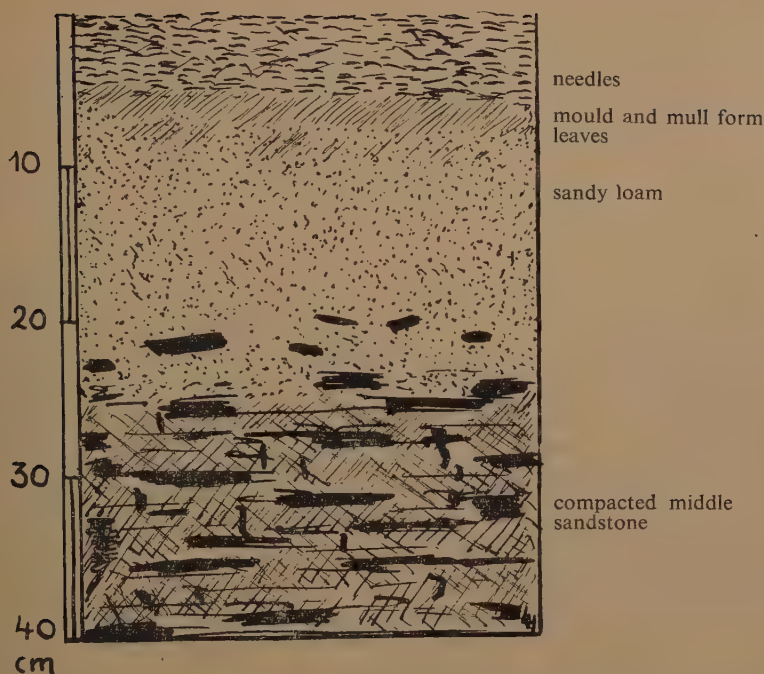


Fig. 5 — Profile of soil in Staatsforst Holzminden I; first generation of spruce-wood after beech-wood.

pH-Wert — can be made responsible for this fact. *Contrary to the soil in deciduous forests the soil in coniferous forests lacks tenaciousness.*

The influence of a layer of rotten leaves (Streudecke) on soil-erosion underneath wood is a rather strong and lasting one. This is proved by observations which showed that no erosion took place on a ground which after the deforestation of a deciduous forest was reforested with conifers. The mould cover of the deciduous forest, which formerly grew there, prevented soil-erosion for a long time (for about 30 years), although in all these years coniferous trees have been growing there (see illustration 5). One cannot deny the fact *that together with spruces soil-erosion found its way into wooded countries.* It seems to me that this statement is so important for a judgement on the run-off situation and thus on the hydrologie of the wooded low mountains as a whole, that it should be tried to prove its general validity not only for sandstone soils but for other soils too.

### 3. WANDERING OF SPRINGS — A RESULT OF THE AFFORESTATION WITH SPRUCES

In connection with the observation of an increased surface run-off of water underneath spruces it was tried to register with the help of geomorphological methods *changes of the presence of water in low mountains overgrown with coniferous forests.* According to the observations of soil-erosion underneath wood such changes were definitely to be expected. The hitherto still unpublished investigations, the result of

which shall be summarily given in the following lines, give some hints at the kind of these changes of the presence of water.

Based on a *mapping out of live and dead springniches* in large regions of the «Norddeutsche Buntsandsteinbergland» it was possible to find out that underneath coniferous forests i.e. underneath spruces, in general the springs have wandered downwards the slopes for about 6 to 12 metres in the last 30 or 40 years. The various exposures and the multitude of the dead niches exclude the possibility of using as proofs only singular cases which originated in special conditions and which could not be generalized. The checking of the printed and unprinted climate registers has shown that there have hardly been any variations of the amount of precipitation in the rainy and snowy low mountains; it was of no account, whether the precipitation of a whole year or the amount of precipitation of the different months were examined. That means that the precipitation cannot be made liable for the sinking of the spring horizon (Quellhorizont). Of importance, however, is the observation that underneath deciduous forests which are growing on rocks of the same kind and which have the same exposure those changes do not exist. Thus the number of the possible causes is decisively restricted. *The sinking of the springhorizon and thus the sinking of the ground-water table underneath spruces seems to originate with a rather considerable certainty in the peculiarities of the water consumption of spruces.* The greater areal run-off of water in old woods of spruces and the greater water consumption of spruces as compared to deciduous trees are probably the causes for this sinking. The investigations are still going on.

#### LITERATURE

*Publications of the author which are quoted in the report:*

- (<sup>1</sup>) Über die Meßbarkeit von Bodenerosion. In : *Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 100. Band, 1951, S. 106-110.
- (<sup>2</sup>) Über Kartierungsmethoden von Bodenerosion durch Wasser. In : *Neues Archiv für Niedersachsen*, 1951, S. 590-598.
- (<sup>3</sup>) Beobachtungen über die Empfindlichkeit von Ackerböden gegenüber der Bodenerosion. In : *Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 109. Band, 1954, S. 42-54 (mit 8 Diagrammen).
- (<sup>4</sup>) Beispiele von Bodenerosionskarten im Niedersächsischen Bergland sowie Bemerkungen über Berücksichtigung der Erosionsschäden bei der Bodenschätzung. In : *Neues Archiv für Niedersachsen*, 1954, S. 140-143 (mit drei Karten).
- (<sup>5</sup>) Die Bedeutung der Streudecke für die Bodenabspülung auf Sandsteinböden unter Wald. In : *Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 119. Band, 1956, S. 139-143.
- (<sup>6</sup>) Bodenerosion, Quellenbildung und Abflußvorgänge im Freiland und unter Wald. In : *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen*, 1957.

# DIE PLANTSCHWIRKUNG VON REGENTROPFEN ALS EIN FAKTOR DER BODENEROSION

## ON THE WHIRLING EFFECT OF RAIN DROPS AS ONE CAUSE OF SOIL EROSION

H. KURON UND H. J. STEINMETZ

Gießen.

### ABSTRACT

The total process of soil erosion is caused chiefly by two effects: one produced by the impact of falling raindrops and the other by washing away through flowing surface water. Laboratory experiments were conducted to determine a specific type of splash effect, i.e. the impact of a water drop on a soil surface saturated with or flooded by water, as it had been noted that one main reason for erosion is the whirling effect of drops. This can cause a strong stirring up of the flooded soil surface and the formation of a soil suspension going downhill with water flow.

Special stress was laid on the depth of the effect of single falling drops and on the way in which the drops influence water flow.

Tests showed that at first there is an increase of soil splash with increasing depth of water. This is true mostly for silt soils with little cohesion. At greater water depth soil splash decreases, the total amount of the soil transported, however, is increased, since the turbulence of running water caused by the impact of the drops (whirling effect) becomes more and more important. As a result of water turbulence the soil surface is changed in a way that is comparable to whirlpools. With increasing depth and velocity of water flow the whole process of erosion is gradually less affected by the falling drops.

The tests made on this part of soil erosion are not yet finished and must be supported by quantitative measurements under field conditions.

Im Rahmen der Untersuchungen über Ursachen, Erscheinungsformen und Wirkungen der Bodenerosion durch Wasser wurde in den letzten Jahren in zunehmenden Maße der Aufprall der Regentropfen auf die Bodenoberfläche beachtet und als wesentlicher Teilvorgang der Bodenverlagerung durch Wasser erkannt. Man unterteilt daher heute den komplexen Vorgang der « Bodenerosion durch Wasser » in die Wirkung der fallenden Tropfen und die des oberflächlich abfließenden Wassers. Dem Auftreffen fallender Tropfen kommt jedoch eine solche Bedeutung als Primäreffekt zu, daß eine weitere Unterteilung notwendig ist. Man kann hier unterscheiden eine Prallwirkung, d.h. die mechanische Wirkung auf trockene oder mäßig feuchte Böden, und die Plantschwirkung als Bezeichnung für den Tropfeneinschlag in eine wassergesättigte oder von oberflächlich abfließendem Wasser überströmte Bodenoberfläche. Die Grenze zwischen beiden ist fließend, doch weichen die Folgeerscheinungen stark voneinander ab.

Die Prallwirkung besteht im wesentlichen in dem Zerschlagen der Bodenaggregate, dem Verdichten der Bodenoberfläche und dem Wegschleudern von Bodenteilchen. Sie wurde in zahlreichen Arbeiten beschrieben (1;2,3). Im folgenden werden einige experimentelle Ergebnisse über die Plantschwirkung erläutert, wobei neben dem Faktor Bodenart insbesondere die Tiefenwirkung der Tropfen und ihr Einfluß auf oberflächlich abfließende Wasserschichten berücksichtigt wurden.

Wie der Gesamtvorgang der Bodenerosion wird auch der Einfluß der Tropfen auf eine wassergesättigte oder überströmte Bodenoberfläche von zahlreichen Faktoren bestimmt, die in enger Wechselwirkung stehen. Als wichtigste sind zu nennen:

Bodenart — und zustand, Vegetation, Niederschlagsintensität und — menge, Größe und Geschwindigkeit der Tropfen, Stärke und Richtung des Windes, Form, Gefälle und Exposition des Geländes und endlich Temperatur. Je nach den Verhältnissen herrscht der eine oder andere Faktor vor, doch immer ist eine gegenseitige Beeinflussung vorhanden, die die Erkennung und quantitative Erfassung eines einzelnen Faktors erschwert oder gar ausschließt. Lediglich experimentelle Untersuchungen geben die Möglichkeit, die verschiedenen Faktoren zu trennen.

Die Versuche wurden in der Weise durchgeführt, daß bei einer konstanten Fallhöhe von 0,5 m und einem Tropfendurchmesser von 2,9 mm die Wirkung des Aufpralles auf verschiedene Vorlagen untersucht wurde.

*Versuch 1:* Um das grundsätzliche Verhalten des Tropfens beim Aufprall festzustellen, wurde zunächst als Aufschlagfläche stehendes klares Wasser benutzt. Dabei ergab sich folgendes: Der mit einer Geschwindigkeit von etwa 3 m/s auftreffende Tropfen dringt anfangs in das Wasser ein und wird dabei abgeplattet. Es bildet sich ein deutlicher Krater (*Abb. 1,1*); dessen kronenförmiger Wall, der nur zu einem geringen Anteil Wasser des Tropfens selbst enthält, wird auseinandergeschleudert. Der Krater selbst wird von dem umgebenden Wasser ein- bzw. hochgedrückt, wobei fast der gesamte Tropfen in Form einer Säule hochgeworfen wird, wie dies durch Verwendung von angefärbtem Wasser nachgewiesen werden konnte (*Abb. 1,2*). Diese Säule schnürt sich an verschiedenen Stellen ab und zerfällt in einzelne kleinere Tröpfchen (*Abb. 1,3*), die wiederum auf die inzwischen hochgewölbte Wasseroberfläche fallen und zu einer Verstärkung der nach den Seiten hin abklingenden Wellenbewegung führen können (*Abb. 1,4*).

Wesentlich dabei ist die Tiefenwirkung des Tropfens, die bei den angegebenen Bedingungen bis 8 mm beträgt und dann die Bodenoberfläche beeinflusst, wenn diese innerhalb des Tiefenbereiches liegt. In Versuchen mit verschiedenen hohen Wasserschichten wurde festgestellt, daß mit abnehmender Wasserhöhe die Schleuderwirkung

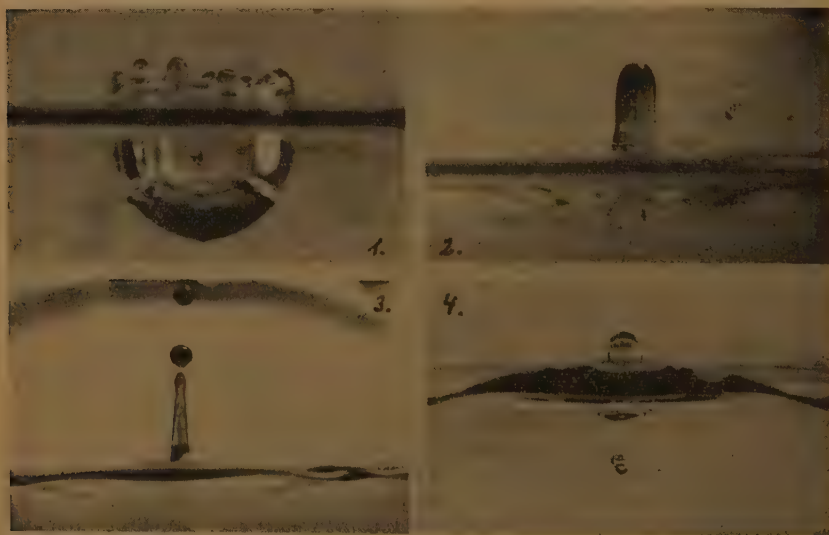


Abb. 1



zunimmt. An der Aufschlagstelle selbst bildet sich eine Eintiefung der Bodenoberfläche. Diese entsteht einmal, und zwar in erster Linie, durch Entfernen von Bodenteilchen, dann aber auch durch Zusammenpressen der Oberfläche. Das findet vor allem bei locker gelagerten schluffigen Böden statt. Die aus der Eintiefung geschleuderten Bodenteilchen werden dicht um die Einschlagstelle herum abgelagert, da ihre Bewegung durch das umgebende Wasser stark abgebremst wird und somit eher einer Schub- als einer Schleuderbewegung entspricht. Lediglich Teilchen der Tonfraktion werden als Schweb über etwas größere Strecken verlagert. Dies gilt allerdings nur beim Auftreffen einzelner Tropfen. Dagegen wird unter natürlichen Bedingungen eine flache stehende Wasserschicht durch die Plantschwirkung der schnell aufeinander folgenden Regentropfen in ständiger Bewegung gehalten und kann bedeutende Bodenmengen als Schweb aufnehmen (nach Ellison etwa 20 %) <sup>(4)</sup>. Die gemeinhin als Prallwirkung bezeichnete Verlagerung von Bodenteilchen durch Tropfen setzt erst bei einer Wasserschicht unter 2 mm Dicke ein. Hier wird der gesamte Wasserfilm auseinander gerissen und der gelockerte Boden nach allen Seiten geschleudert und zwar um so mehr, je flacher die Schicht und damit die Bremswirkung ist.

Das Erscheinungsbild ändert sich völlig, wenn die Tropfenwirkung auf eine fließende Wasserschicht untersucht wird. In *Versuch 2* wurde als Unterlage Lösslehm folgender Zusammensetzung verwandt: 24,3 % Ton ( $< 0,002$  mm), 68,4 % Staubschluff (0,002 — 0,06 mm), 7,3 % Sand (über 0,06 mm), 1,34 % organische Substanz. Um vergleichbare Versuchsbedingungen zu schaffen wurde er in naturfeuchtem Zustand in einen  $30 \times 40$  cm großen Behälter aufgebracht, dessen Neigung 5 % betrug. Die gesamte Oberfläche wurde nun von Wasser mit einer Fließgeschwindigkeit von etwa 26 cm/s gleichmäßig überströmt und der Boden langsam durchweicht. Ein großer Teil zuoberst befindlicher Bodenteilchen wurde losgespült, in die Hohlräume verfrachtet oder weggeschwemmt; dadurch wurde die Bodenoberfläche mehr und mehr geglättet. Es bildeten sich einige flache breite Dellen aus, in denen ein



Abb. 2

etwa 3 mm dicker Wasserfilm sich mit 30 cm/s Geschwindigkeit bewegte. Nach längerer Überströmungsdauer ließ die Bodenverlagerung langsam nach und es stellte sich auf der fast eingeebneten Oberfläche angenähert ein Gleichgewicht ein. Dies war bei der gewählten Bodenart (Lösslehm) nur auf die geringe Fließgeschwindigkeit und die infolge des Fehlens von Hindernissen als laminar anzusprechende Strömung zurückzuführen. Das Wasser lief klar ab und in diesem Stadium setzten die Tropfenversuche ein. Dabei war folgendes zu beobachten: Der aus 50 cm Höhe fallende Tropfen warf einen Krater auf (Abb. 2,1), der sich rasch seitwärts verbreiterte und einen Wasserwall bildete. Kleinere Wasserteilchen wurden mit hoher Geschwindigkeit weggeschleudert (Abb. 2,2), der Wall bog sich seitwärts auseinander und kippte um. Auf der Wasseroberfläche waren rund um die Einschlagstelle charakteristische Vertiefungen sichtbar, die von den Zacken des kronenförmigen Walles herrührten. Ihre kinetische Energie und damit die Beeinflussung der Bodenoberfläche ist nicht groß, bekommt aber ihre Bedeutung durch die Wasserschicht, deren Fließbewegung ebenso wie beim Tropfenaufprall durch das Zurückfallen beeinflusst wird. Es entstehen kleine Wirbel die in der Lage sind, lockere Teilchen der Bodenoberfläche in Bewegung zu setzen (Abb. 3,1 — 3,3).

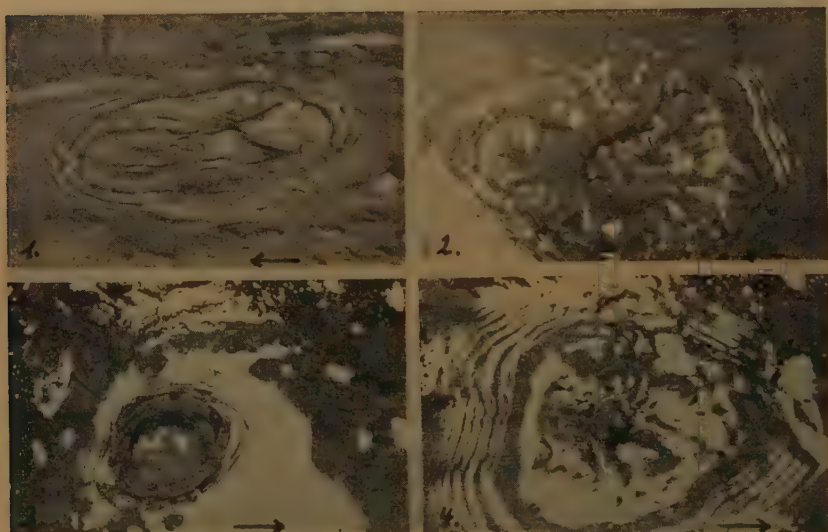


Abb. 3

Durch das Zusammenspiel von Tropfenaufprall und folgendem Auseinanderbrechen des Wasserwalles, dessen oberer Teil aus reinem Wasser besteht, mit nach unten zunehmendem Gehalt an losgerissenen Bodenteilchen, wird eine Breitenwirkung bedingt, die sich bei dem geschilderten Versuch über eine Fläche von etwa 7 cm<sup>2</sup> erstreckte. Außerhalb dieses Bereiches, seitwärts und oberhalb der Einschlagstelle, klingt die Wellenbewegung sehr rasch ab. In Fließrichtung erfolgt aber eine Verlagerung des gesamten turbulenten Feldes, wobei infolge der Geschwindigkeitsunterschiede die obere Grenze des Gebietes eingedrückt und die untere ausgedehnt wird (Abb. 3,4). Die Turbulenz ist am stärksten unmittelbar am Rand der Einschlagstelle, nimmt dann ab und steigt im Bereich der Aufschlagstellen der Wallkrone nochmals

etwas an. Mit der Verlagerung des Feldes macht sich jedoch nun die Eintiefung bemerkbar, die beim Tropfenaufprall entstand. Durch das Auseinanderdrücken des Bodens bei der Kraterbildung und die Schubbewegung des nach den Seiten gepreßten Wassers bildet sich vor allem an der Oberseite der Aufschlagstelle ein Bodenwall, über den nun das nachdrängende Wasser in die Vertiefung einfällt. Dabei wird der Wall abgebaut und es kommt zum Einsturz und einer Verflachung der Ränder der Eintiefung. Der losgerissene Boden wird zum größten Teil mitgeschwemmt. Die gröberen Teilchen lagern sich dabei rasch wieder ab und bilden unterhalb der Eintiefung einen Strömungskegel, der jedoch nicht sehr lange bestehen bleibt, denn das durch die Eintiefung mit starker Wirbelung abfließende Wasser führt rasch zu einer Verflachung und Einebnung. Die feineren Kornfraktionen werden — teils gerollt — über weitere Strecken verlagert und so über größere Flächen ausgebreitet; teils werden sie als Schweb mitgetragen und erst bei nachlassender Fließgeschwindigkeit entsprechend ihrer Korngröße abgesetzt.

Die Eintiefung selbst wird durch nachfolgendes ruhiger fließendes Wasser teilweise wieder eingeebnet.

Die geschilderten Vorgänge während und kurz nach dem Tropfenaufprall führen zu Bodenverlagerungen, die man nur sehr schwierig zahlenmäßig erfassen kann. Der gesamte Komplex «Plantschwirkung» ist im wesentlichen gekennzeichnet durch die Überführung einer relativ ruhig abfließenden Wasserschicht in eine turbulente Strömung durch Tropfenaufprall und läßt sich am ehesten mit Erscheinungen vergleichen, die man beim Kolken beobachten kann (whirling effect). Die kinetische Energie des abfließenden Wassers wird beträchtlich erhöht und damit auch die Schleppkraft. Dies hat zur Folge, daß ein großer Anteil des durchweichten und damit relativ leicht zu lockern und aufzuwühlenden Bodens vom Wasser aufgenommen und verfrachtet wird. In Einzelversuchen wurde festgestellt, daß das abfließende Wasser trotz seiner geringen Geschwindigkeit (30 cm/s) in der Lage ist, auf kurze Entfernungen bis 12 Gewichtsprozente Boden als Schweb zu verlagern.

Die Turbulenz nimmt mit der Verlagerung des Feldes ab, ebenso der Schleppdruck, doch werden noch 10 cm unterhalb der Einschlagstelle locker gelagerte Bodenteilchen in Bewegung gesetzt und abwärts gerollt oder geschoben. Dies ist also außerhalb der Zone mit turbulenten Fließerscheinungen, die etwa 8 cm unterhalb der Einschlagstelle aufhört.

Um zu erfahren, welche Bodenmengen noch nach einem Fließweg von 25 cm unterhalb der Einschlagstelle bewegt werden, wurden zahlreiche Messungen durchgeführt. Zur Ermittlung der Wassermenge, die unmittelbar durch den Tropfen beeinflusst wird (turbulentes Feld), wurden die Tropfen angefärbt. Auf diese Weise konnte das gesamte anfänglich turbulent abfließende Wasser erfaßt werden. Danach wurden je Tropfen nach 25 cm im Durchschnitt 0,04 g Boden gemessen. Im einzelnen schwankten die Werte beträchtlich und lagen teils über 0,1 g, teils unter 0,02 g. Auf Grund dieser Unterschiede konnte annähernd die Bodenmenge ermittelt werden, die als Schweb mitgeführt wurde. Sie wies nahezu konstante Werte auf, die bei 0,01 g Boden je Tropfen lagen. Die Steigerungen der verfrachteten Bodenmenge hingegen sind bedingt durch Bodenteilchen, die vom Wasser gerollt oder geschoben werden. Zur Verdeutlichung der Verlagerungsvorgänge auf einer gleichmäßig überströmten Bodenoberfläche wurde ein Bodenstreifen mit Methylenblau angefärbt und anschließend so lange von Wasser überströmt, bis aller ungebundene Farbstoff fortgewaschen war und sich das schon oben erwähnte Gleichgewicht eingestellt hatte (Abb. 4,1). Der Tropfen fiel aus 50 cm Höhe 0,5 cm oberhalb des unteren Randes des Bodenstreifens auf. Feinere Bodenteilchen wurden durch die Plantschwirkung losgerissen und als Schweb verfrachtet, während gröbere vom abfließenden Wasser abwärts geschoben bzw. gerollt wurden und entsprechend ihrer Schwere früher oder später liegen blieben (Abb. 4,2). Abbildung 4,3 zeigt die Situation kurz nach dem



zweiten Tropfenaufprall. Die dunkle Zunge im Vordergrund rührt von den als Schwebmitgeführten, angefärbten Teilchen her, während größere Partikel auf der Bodenoberfläche rollen und einen großen Teil der abwärts gelegenen Fläche überlagern. 0,3 Sekunden nach dem dritten Tropfenaufprall hat sich die überlagerte Fläche noch weiter vergrößert und zieht sich als langgestreckte Zunge in der Fließrichtung. Während bei den oben beschriebenen Messungen lediglich die Bodenmenge erfasst wurde, die noch in 25 cm Abstand von der Aufprallstelle vom Wasser befördert wurde, geben diese Bilder eine Vorstellung von der Bewegung der Bodenteilchen, die nur eine kurze Strecke befördert werden, deren Menge aber um ein Vielfaches die gemessenen Werte übersteigt.



Abb. 4

Mit abnehmender Schichtdicke des fließenden Wasser nähert man sich dem Übergang von der Plantschwirkung zur Prallwirkung. Die Turbulenz nimmt ab, die Schleuderwirkung dagegen zu (vgl. Abb. 2,2 und 2,3). Die Verringerung der Schichtdicke kann sowohl auf geringere Wassermengen als auch auf stärkeres Gefälle und die damit erhöhte Fließgeschwindigkeit zurückzuführen sein (Abb. 2,4). Die Folgen, die sich aus den verschiedenen Ursachen ergeben sind grundverschieden und führen im letzten Fall zu Bodenverlagerungen, deren Menge bei 20 % Gefälle und 25 cm Fließlänge mit durchschnittlich 0,7 g Boden je Tropfen ermittelt wurde. Dies entspricht etwa 8 Gewichtsprozenten des abfließenden Wassers (Turbulenzfeld). Größere Bodenteilchen werden nur noch ganz vereinzelt abgelagert und es kommt sehr rasch zur Bildung von Rinnen, die sich rückwärts einschneidend erweitern und bald die gesamte Bodenoberfläche überziehen.

Gleiche Versuche wurden mit Böden verschiedener Herkunft und Zusammensetzung durchgeführt. Es zeigte sich dabei, daß die Plantschwirkung am stärksten bei staubschluffigen Böden in Erscheinung tritt. Die bei laminarer Strömung sich



einstellende dachziegelartige Lagerung der Teilchen wird hier infolge der geringen Bindigkeit der durchweichtten Böden sehr leicht durch einen Wassertropfen zerstört. Damit sind für das nun turbulent abfließende Wasser Ansatzpunkte für Abtrag und Einschneidung gegeben. Sandige Böden sind, ebenso wie Tonböden, nicht im gleichen Maße gefährdet. Der Sandboden ohne Bindigkeit fängt den Tropfen auf, wobei sich eine beträchtliche Eintiefung bildet, die sofort wieder zusammenfällt. Damit wird die entstehende Turbulenz rasch abgeschwächt, und die Energie des abfließenden Wassers ist nicht in der Lage, die großen Körner über weitere Strecken zu verfrachten. Bei überströmten sandigen Lehmen konnte ferner beobachtet werden, daß eine mit dem Wasser wandernde Sandhaut die Aufwirbelung feinerer Teilchen aus der darunter befindlichen Bodenmasse verhinderte. Andererseits setzt die Bindigkeit der tonigen Böden selbst im stark durchfeuchteten Zustand der erodierenden Kraft des auftreffenden Tropfens und der turbulenten Strömung solchen Widerstand entgegen, daß nur in geringem Maße Teilchen losgerissen werden können.

Wenngleich diese Untersuchungen nicht mit den Bedingungen eines normalen Niederschlags verglichen werden können, so geben sie doch Hinweise auf die Gefährdung von Ackerland durch die Plantschwirkung. Diese wird in dem beschriebenen Ausmaß z.B. bei oder nach Niederschlägen unter einer Vegetationsdecke durch das Abtropfen von den Pflanzen zu beobachten sein. Die kinetische Energie fallender Regentropfen liegt wesentlich höher und bedingt Ausmaße der Plantschwirkung, die bisher nur in groben Zügen bekannt sind, im einzelnen aber noch grundlegend untersucht werden müssen.

#### SCHRIFTTUM

- (1) ECKERN, P. C.: Raindrop impact as the force initiating soil erosion. *S. Sc. Soc. Proc.* 15 (1951) 7-10.
- (2) LAWS, J. O.: Measurements of the fall-velocity of water-drops and raindrops. National Research Council, III (1941) 709.
- (3) FREE, G. R.: Soil movement by raindrops. *Agric. Eng.*, August 1952, 491.
- (4) ELLISON, W. D.: Mechanics of water erosion. 5th Int. Congr. of S. Sc., Leopoldville 1954.

# SOME QUESTIONS OF WATER EROSION IN CZECHOSLOVAKIA

ING. DR JAN DVORAK & ING. DR MILOS HOLY  
Prague Prague

## SUMMARY

Soil Conservation is a fairly new science in Czechoslovakia. Scientific workers began to consider this problem seriously only after the 2nd World War. Special attention is given first of all to the occurrence and extent of water erosion in our country, to the intensity of the existing forms, the methods of mapping of erosion phenomena and the extent of the land threatened by erosion, the determination of a basis for soil conservation and the effect of different conservation measures. The presented paper proposes a design for the intensity classification of sheet erosion and a contribution for the determination of the critical effluent quantity.

For the proposal of erosion control for the purpose of soil conservation in single districts, it is necessary for us to get to know the intensity of the erosion processes, if possible with sufficient precision, without great time losses and at the same time economically.

Foreign literature brings a number of methods of water erosion determination. In Czechoslovakia the cited methods were analysed and it was found that they do not fully answer the needs of smaller countries to which Czechoslovakia also belongs. For this reason different investigators tried to work out a new method of classification better applicable to conditions in smaller countries. The first step to its realisation was a tentative classification of selective sheet erosion which is widely used in our country and causes not only losses of the fertile soil particles and plant nutrients but also the silting of streams and reservoirs.

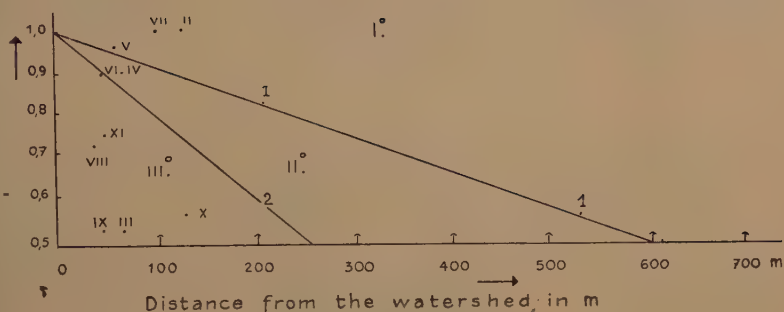
The tentative classification of selective sheet erosion is based on the following consideration:

Runoff over exposed surfaces removes soil particles from the surface of the slope and with them plant nutrients. As the quantity of the transported particles and their size, and in this connection also the loss of nutrients, depends on the intensity of the erosion process, the other conditions being the same, we may assume that the change in the texture of the top-soil on the slopes is a reliable and sufficiently exact index of the degree of intensity of the water erosion.

The texture of the top-soil is defined by the reciprocal proportion of the soil particles of different size. In erosion processes caused by runoff, the removal of soil particles of smallest sizes takes place and grows constantly with the increasing intensity of the erosion process. If we take the sizes and amount of the single soil particles transported by the erosion as an indicator of the intensity of the erosion process, we can characterize the intensity by means of the removal of these particles. For practical purposes it is necessary to express the intensity of the erosion process by a single value. It is our task, therefore, to find a characteristic which expresses at least approximately the state of the texture (i.e. the reciprocal proportion of the soil particles of various sizes) at the different points of the slope.

In order to find such a characteristic it was necessary to investigate a series of slope profiles in nature, to collect soil samples at these points, to subject them to laboratory analyses and on the ground of results obtained in this way to reach further conclusions. As an illustration, 11 investigated profiles with different declivity and length of slope are shown.

Maximum relative change in texture



SLOPE I

Sample No	Distance from the watershed in m	Category of soil particles under 2 mm in %				Soil particles under 2 mm in %
		I	II	III	IV	
1	watershed	29,67	46,19	11,76	11,32	98,94
2	90	27,66	51,43	10,10	9,76	98,95
3	200	22,06	50,74	17,00	9,76	99,56
		Category of soil particles larger than 2 mm in %				Soil particles larger than 2 mm in %
		V	VI	VII	VIII	
1	watershed	0,74	0,14	0,18	0,00	1,06
2	90	0,26	0,05	0,05	0,69	1,05
3	200	0,38	0,04	0,02	0,00	0,44

SLOPE II

Sample No	Distance from the watershed in m	Category of soil particles under 2 mm in %				Soil particles under 2 mm in %
		I	II	III	IV	
1	watershed	31,76	41,87	10,22	9,26	93,11
2	50	30,47	48,47	10,45	7,14	96,76
3	130	29,78	49,12	11,57	7,72	98,19
		Category of soil particles larger than 2 mm in %				soil particles larger than 2 mm in %
		V	VI	VII	VIII	
1	watershed	1,92	1,02	1,47	2,48	6,89
2	50	1,64	0,26	0,84	0,50	3,24
3	130	0,73	0,15	0,61	0,32	1,81

## SLOPE III

Sample No	Distance from the watershed in m	Category of soil particles under 2 mm in %				soil particles under 2 mm in %
		I	II	III	IV	
1	watershed	21,52	18,87	7,35	22,85	70,59
2	60	11,92	8,52	3,02	27,26	50,72
3	97	32,86	31,53	6,93	17,82	89,14

		Category of soil particles larger than 2 mm in %				soil particles larger than 2 mm in %
		V	VI	VII	VIII	
1	watershed	12,75	4,99	5,71	5,96	29,41
2	60	25,14	10,03	12,64	1,47	49,28
3	97	7,05	2,16	1,26	0,39	10,86

## SLOPE IV

Sample No	Distance from the watershed in m	Category of soil particles under 2 mm in %				soil particles under 2 mm in %
		I	II	III	IV	
1	watershed	15,94	44,02	7,09	21,13	88,18
2	75	11,66	55,29	8,28	20,60	95,83
3	105	20,59	27,29	8,66	36,02	92,56

		Category of soil particles larger than 2 mm in %				soil particles larger than 2 mm in %
		V	VI	VII	VIII	
1	watershed	3,59	1,72	4,32	2,10	11,82
2	75	2,94	1,23	0,00	0,00	4,17
3	105	2,43	0,91	2,86	1,24	7,44



## SLOPE V

Sample No	Distance from the watershed in m	Category of soil particles under 2 mm in %				soil particles under 2 mm in %
		I	II	III	IV	
1	watershed	26,04	32,57	9,75	27,65	96,01
2	75	24,36	32,40	9,12	33,45	99,33
3	97	26,28	35,92	9,45	27,37	99,02

		Category of soil particles larger than 2 mm in %				soil particles larger than 2 mm in %
		V	VI	VII	VIII	
1	watershed	2,87	0,51	0,61	0,00	3,99
2	75	0,51	0,09	0,07	0,00	0,67
3	97	0,35	0,09	0,00	0,54	0,98

## SLOPE VI

Sample No	Distance from the watershed in m	Category of soil particles under 2 mm in %				soil particles under 2 mm in %
		I	II	III	IV	
1	watershed	42,48	16,56	10,38	30,35	99,77
2	60	36,18	23,70	11,76	28,20	99,84
3	105	42,56	28,75	10,45	17,73	99,49

		Category of soil particles larger than 2 mm in %				soil particles larger than 2 mm in %
		V	VI	VII	VIII	
1	watershed	0,21	0,02	0,00	0,00	0,23
2	60	0,09	0,07	0,00	0,00	0,16
3	105	0,51	0,00	0,00	0,00	0,51

## SLOPE VII

Sample No	Distance from the watershed in m	Category of soil particles under 2 mm in %				soil particles under 2 mm in %
		I	II	III	IV	
1	watershed	31,46	32,92	10,26	22,35	96,99
2	80	28,90	48,26	8,28	13,38	98,82
3	115	28,23	48,23	10,88	11,93	99,27

		Category of soil particles larger than 2 mm in %				soil particles larger than 2 mm in %
		V	VI	VII	VIII	
1	watershed	2,02	0,60	0,39	0,00	3,01
2	80	0,49	0,12	0,16	0,41	1,18
3	115	0,67	0,06	0,00	0,00	0,73

## SLOPE VIII

Sample No	Distance from the watershed in m	Category of soil particles under 2 mm in %				soil particles under 2 mm in %
		I	II	III	IV	
1	watershed	18,70	12,42	10,80	54,68	96,60
2	35	13,06	9,03	8,72	66,92	97,73
3	54	21,49	4,18	11,78	59,27	96,72

		Category of soil particles larger than 2 mm in %				soil particles larger than 2 mm in %
		V	VI	VII	VIII	
1	watershed	2,08	0,22	0,64	0,46	3,40
2	35	1,59	0,14	0,54	0,00	2,27
3	54	2,62	0,12	0,17	0,37	3,28

## SLOPE IX

Sample No	Distance from the watershed in m	Category of soil particles under 2 mm in %				soil particles under 2 mm in %
		I	II	III	IV	
1	watershed	20,66	23,74	7,15	48,04	99,59
2	45	10,63	14,45	2,82	70,12	98,02
3	64	23,76	14,86	4,57	53,96	97,15

		Category of soil particles larger than 2 mm in %				soil particles larger than 2 mm in %
		V	VI	VII	VIII	
1	watershed	0,36	0,05	0,00	0,00	0,41
2	45	1,87	0,11	0,00	0,00	1,98
3	64	2,50	0,15	0,20	0,00	2,85

## SLOPE X

Sample No	Distance from the watershed in m	Category of soil particles under 2 mm in %				soil particles under 2 mm in %
		I	II	III	IV	
1	watershed	41,46	40,96	5,57	9,87	99,86
2	82	32,15	46,45	6,71	14,59	99,90
3	127	22,29	31,12	13,38	32,90	99,69

		Category of soil particles larger than 2 mm in %				soil particles larger than 2 mm in %
		V	VI	VII	VIII	
1	watershed	0,14	0,00	0,00	0,00	0,14
2	82	0,06	0,00	0,04	0,00	0,10
3	127	0,31	0,00	0,00	0,00	0,31

## SLOPE XI

Sample No	Distance from the watershed in m	Category of soil particles under 2 mm in %				soil particles under 2 mm in %
		I	II	III	IV	
1	watershed	38,32	31,86	20,44	7,47	98,09
2	40	27,34	27,92	14,36	28,36	97,98
3	63	42,70	32,51	18,35	5,74	99,30

		Category of soil particles larger than 2 mm in %				soil particles larger than 2 mm in %
		V	VI	VII	VIII	
1	watershed	0,77	0,50	0,64	0,00	1,91
2	40	1,48	0,27	0,27	0,00	2,02
3	63	0,43	0,15	0,12	0,00	0,70

The samples from the slopes were collected at the watershed, at the place where we can assume the maximum intensity of water erosion and at the foot of the slope, and then subjected to analysis in the laboratory.

Grain analysis of soil particles under 2 mm were carried out in Kopecky's elutriation apparatus 1, determinations of larger particles by sifting under water. Soil particles under 2 mm and larger particles were divided into 8 categories:

I. Category	<	0,01 mm	V. Category	2 — 5 mm
II. »	0,01 —	0,05 mm	VI. »	5 — 7 mm
III. »	0,05 —	0,10 mm	VII. »	7 — 15 mm
IV. »	0,10 —	2,00 mm	VIII. »	15 — 30 mm

The soil texture is then characterized in our case by 8 categories. Let us look for a common characteristic. Physical laws of the elutriation process for grains of different sizes from the soil through the water runoff are not yet satisfactorily explained.

In different experiments in connection with the determination of this characteristic a variety of methods was used which were based on different presumptions (among others also on Stoke's law combined with Newton's law) but the obtained results did not satisfy the given purpose because their calculation is complicated and difficult. For this reason it was necessary to select a simpler method.

It was assumed that the soil consists of spheres with the radii  $R_1, R_2, \dots, R_k$

1) Kopecky J.: Pudoznalstvi, Cast fysikalni. Praha 1927

Recently cited — Smolik: Pedologie. Praha 1957, P. 152.



which corresponds the 8 aforementioned gravimetric categories. Their percentage by weight may be expressed by  $m_1, m_2, \dots m_k (k = 1-8)$ .

To obtain the characteristic of the texture condition of the soil let us now use the simple chosen relation:

$$\mu = \alpha_1 m_1 + \alpha_2 m_2 + \dots \alpha_k m_k$$

where  $m_1, m_2 \dots m_k$  are the single categories of the soil particles expressing percentage by weight.

$\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_k$  be selected so that the value  $\mu$  really characterizes the texture condition of the top-soil in the course of the slope and clearly reflects its essential changes.

A detailed analysis of the problem showed that it is advantageous to choose for  $\alpha$  the reciprocal values of the corresponding radii of the soil particles.

$$\text{Hence we have } \alpha_k = \frac{1}{R_k}, \quad \text{where } k = 1 \text{ to } 8.$$

The characteristic  $\mu$  then equals:

$$\mu = \frac{1}{R_1} m_1 + \frac{1}{R_2} m_2 + \frac{1}{R_3} m_3 + \frac{1}{R_4} m_4 + \frac{1}{R_5} m_5 + \frac{1}{R_6} m_6 + \frac{1}{R_7} m_7 + \frac{1}{R_8} m_8.$$

For the determination of the expression  $R$  we cannot use the categories of the soil particles defined by the upper and lower limit, but we have to define them by a single value. For this number the mean value of the corresponding category may be always used.

Hence we obtain:

Category of soil grains	Value R in mm	Category of soil grains	Value R in mm
I	0,005	V	3,5
II	0,03	VI	6,0
III	0,075	VII	11,0
IV	1,0	VIII	22,5

After substituting  $\frac{1}{R_k}$ :

$$\mu = \frac{1}{0,005} m_1 + \frac{1}{0,03} m_2 + \frac{1}{0,075} m_3 + \frac{1}{1,0} m_4 + \frac{1}{3,5} m_5 + \frac{1}{6,0} m_6 + \frac{1}{11,0} m_7 + \frac{1}{22,5} m_8.$$

By calculation we obtain the following characteristics for the single slopes:

No. of slope	No. of sample	Characteristic $\mu$	No. of slope	No. of sample	Characteristic $\mu$
I	1	7642	VII	1	7549
	2	7391		2	7513
	3	6340		3	7411
II	1	7894	VIII	1	4353
	2	7864		2	3097
	3	7756		3	4654
III	1	5059	IX	1	5067
	2	2746		2	2716
	3	7736		3	5363
IV	1	4773	X	1	9768
	2	4307		2	8082
	3	5180		3	5707
V	1	6452	XI	1	9006
	2	6107		2	6619
	3	6607		3	9874
VI	1	9217			
	2	8211			
	3	9628			

From the given results it follows that the value  $\mu$  characterizes sufficiently the texture condition of the top-soil in the single profiles of the slope even where the soil contains a higher percentage of larger particles than 2 mm (see Slope III.) The decreasing value  $\mu$  signifies the removal of the soil particles from the top-soil, the increasing value  $\mu$  the weakening of the process. Let us now use the thus obtained characteristic  $\mu$  for further considerations.

In the erosion control for soil conservation we shall be most interested to what degree the soil texture will alter as a result of the erosion process which is taking place.

Let us now determine the so-called «maximum relative change in the top-soil texture» on slopes. This is done in such a way that we divide the characteristic of the spot where according to the investigations the maximal loss in soil particles occurred (this is given by the lowest value  $\mu$ ) by the characteristic on the watershed of the slope, where we assume an approximately constant texture condition. This «maximum relative change in texture» we use as a basis for the determination of the degree of intensity of the corresponding erosion process.

By calculation we obtain the following values of «maximum relative change in texture».

No. of slope	Distance from the watershed in m	Maximum relative change in texture
I	200	0,83
II	130	0,98
III	60	0,54
IV	75	0,90
V	75	0,95
VI	60	0,89
VII	115	0,98
VIII	35	0,71
IX	45	0,54
X	127	0,58
XI	40	0,73

We plot the «maximum relative change in texture» of the top-soil against the distance from watershed where this change took place, as illustrated in the fig. 1.

When comparing in detail the changes in the top-soil texture, determined by particle analysis of the samples from different places on the slope and from the plotted «maximum relative change in texture (in fig. 1), we can see that the higher values of maximum relative change in texture correspond to slopes with texture changes of higher rates in the top-soil and vice-versa, by which the different degrees of intensity of the water erosion are characterized.

Now it was necessary to find a suitable range for the single degrees of intensity of the investigated erosion processes. Up till now we could not ascertain the relation between the relative maximal change in texture of the topsoil and the quantity of removed particles (important for the evaluation of the possibility of the silting of streams and reservoirs) nor the proportion of the different degrees of disturbance in agricultural production during the change of soil texture (important for the tentative erosion control measures). This determination is the task of further investigations which are being carried out at present in Czechoslovakia. In the meantime the division of the intensity of water erosion was carried out according to the urgency of the erosion control interference in the investigated area of the 3rd degree, shown in fig. 1, where the lines 1 and 2 separate the 1st, 2nd and 3rd degree of intensity of sheet erosion. For the determination of generally valid rules for the intensity of sheet erosion, data are gathered from the entire area of Czechoslovakia.

II. The most important principle for the proposal of protection of agricultural land against erosion is the critical runoff quantity. Surface runoff occurs on the one hand during the melting of snow and on the other hand during precipitations. There are three cases considered as critical: spring runoff from the melting snow, runoff from precipitation on frozen soil and runoff from precipitation of great intensity on the bare soil, uncovered by vegetation. In the major part of the area of our country, where cultivated agricultural land predominates, it will be necessary to consider as critical the runoffs from floods caused by precipitations on the soil not covered by vegetation.

For the determination of surface runoff from precipitations three principle methods are used:

- 1/ The determination of surface runoff by evaluation of precipitation in its

entire course on the basis of the relation between infiltration and duration of the precipitation.

2/ The determination of the runoff of average flood precipitation of mean intensity by the constant coefficient of the runoff.

3/ The determination of the runoff from empiric relations founded on observations in the field.

An essential presumption for the use of each of above methods is the knowledge of the relation between the runoff and the rate and duration of the precipitation and the slope in different soil conditions. To ascertain these relations, field experiments were carried out with the purpose to provide the necessary foundations.

Runoff areas were built on sandy soils, loam and clay, measuring  $1 \times 2$  m, always two next to each other with a slope of 2, 4, 7, and 10°. The areas were closed in and on the lower side a collecting channel was placed to enable the measurement of the magnitude of the runoff. Using a special sprinkler a precipitation was called forth which was kept at a constant intensity during the experiment. The intensities used during the single experiments varied from 0.3, 0.5, 0.75, 1.0, 2.0 and 3.0 mm/min. The duration of the precipitation varied according to the magnitude of the sprinkling intensity between 45 — 240 min. The intensity of the precipitation was measured in small ombrometers, hung up above the investigated areas. The runoff from the collecting channel was measured in 5-minute intervals during the experiment and the water levels in ombrometers. The experiments were carried out in soils saturated with water to field capacity in order to permit the comparison of the results from different soil conditions and also because the runoffs on soils with such a content of water reach maximum values. The measured values of the single experiments were then used for the deduction of a general relation between the surface runoff and the rate and duration of the precipitation and the slope for the given soil conditions.

The total quantity of the surface runoff in a given time, after the beginning of the precipitation on the bare soil not covered by vegetation, equals the level of the rainfall reduced by the quantity of water infiltrated into the soil and temporarily accumulated on the soil surface, if we neglect the insignificant quantity of water which is evaporating in the course of the precipitation.

$$O = S - K - A$$

where  $O$  — quantity of the runoff in mm,

$S$  — total level of rainfall in mm,

$K$  — quantity of water infiltrated in the soil in mm,

$A$  — quantity of temporarily accumulated water in mm.

If we consider the surface runoff during a unit of time in a given time after the beginning of the rainfall, we obtain the equation:

$$o_t = i_t - k_t - a_t$$

where  $o_t$  — quantity of surface runoff during unit time, in time  $t$  in mm/min.,

$i_t$  — intensity of rainfall in time  $t$ , in mm/min.,

$k_t$  — quantity of infiltrated water in unit time, in time  $t$  in mm/min.,

$a_t$  — increase of temporarily accumulated water on the soil surface in unit time, in time  $t$  in mm/min.

If we divide this equation by the intensity of rainfall  $i_t$  we obtain the expression determining the coefficient of the instantaneous runoff  $O_t$ :

$$O_t = 1 - K_t - A_t$$

where  $O_t$  — coefficient of instantaneous runoff in time  $t$ ,

$K_t$  — coefficient of instantaneous infiltration in time  $t$ ,



$A_t$  — coefficient of instantaneous increase of accumulated water in time  $t$

As the value  $A_t$  with respect to value  $K_t$  is very small on the declined area, it will be neglected in the following calculation. The simplified equation is now given by the following expression :

$$O_t = 1 - K_t.$$

In order to express the functional relation between the coefficient of instantaneous infiltration and time, equations by Horton/1 — 733/, Mezencev/2 — 33/ and Kostjakov/3 — 114/ were taken into consideration.

Horton shows the relation between infiltration and time by an expression which after rearrangement reads:

$$K_t = K_c + (K_o - K_c) \cdot e^{-ct}$$

where  $K_t$  — coefficient of instantaneous infiltration in time  $t$ ,

$K_c$  — coefficient of soil permeability.

$K_o$  — coefficient of instantaneous infiltration in time  $t = 0$ ,

$t$  — time in min,

$e$  — basis of natural logarithm,

$c$  — constant.

The advantage of the given expression consists in the fact that it expresses the functional relationship theoretically without time limit.

Less advantageous is Mezencev's expression:

$$K_t = K_c + (K_1 - K_c) \cdot t^{-b}$$

where  $K_t$  — coefficient of instantaneous infiltration in time  $t$ .

$K_c$  — coefficient of soil permeability.

$K_1$  — coefficient of instantaneous infiltration in time  $t = 1$ ,

$t$  — time in min.

$b$  — constant.

The given relation has in comparison with the aforementioned equation the disadvantage that it is not valid for the time interval between 0 — 1 minute. Its validity, therefore, is limited for the time  $t \geq 1$ . As in field experiments, however, the value of soil permeability could not be determined, it was not possible to use either of the given expressions for the computation of the results.

Kostjakov expresses the relation between the infiltration and time by the equation

$$w_t = k_t \cdot I_t = \frac{k_1}{t^a}$$

$$I_t = \frac{h + u}{u}$$

where  $w_t$  — the rate of infiltration of water in time  $t$ ,

$k_t$  — coefficient of soil permeability in time  $t$ ,

$k_1$  — coefficient of soil permeability at the end of the first time unit,

$a$  — exponent dependent on soil conditions,

$h$  — water level on the soil surface in time  $t$ ,

$u$  — thickness of the wetted soil in time  $t$ .

In comparison with the values  $u$ ,  $h$  has very small values on slopes, and that only after a certain time after the beginning of rainfall, whereas  $u$  grows relatively quickly. The value  $I_t$  can hence be considered, for the given case, as equal to 1 and the equation has this simplified form:

$$K_t = \frac{K_1}{t^a}$$

where  $K_t$  — coefficient of the instantaneous infiltration in time  $t$ ,  
 $K_1$  — coefficient of the instantaneous infiltration at the end of the first time unit,

$t$  — time in min,

$a$  — exponent dependent on the soil conditions.

Hence the general form of the equation:

$$K_t = a \cdot t^n.$$

For the interpretation of the results in the field we started from this basic equation. Its disadvantage is its limited validity in the range of  $1 \leq t \leq t_c$ , where  $t_c$  is the time, when the infiltration capacity of the soil decreased to the value of permeability. This fact is, however, for the given purpose of no harm because the expression allows an easy interpretation, and for this reason it was applied in further calculations.

The equation expressing the relationship between the coefficient of the instantaneous runoff and the time has the following form:

$$O_t = 1 - K_t = 1 - a \cdot t^n.$$

The exponent  $n$  and the coefficient  $a$  are in relation to the infiltration capacity of the soil. In the interpretation of the results it was found that there is a relationship between the runoffs on various slopes even with different intensities and durations of the sprinkling. It was found that the exponent  $n$  is a function of the slope and the coefficient  $a$  a function of the intensity of the precipitation. For the exponent  $n$  the following experimental expression was determined:

$$n = -c \cdot I^d$$

and for the coefficient  $a$

$$a = a' \cdot i^{-b}.$$

The resulting equation, expressing the relation between the surface runoff and the rainfall intensity, duration and slope in the given conditions, has the form:

$$O_t = 1 - \frac{a'}{i^b \cdot t^{cI^d}}$$

where  $O_t$  — coefficient of instantaneous runoff in time  $t$ ,

$i$  — rainfall intensity in mm/min,

$I$  — slope,

$t$  — time after beginning of rainfall in min,

$a'$  — coefficient,

$b, c, d$  — exponents;

The single coefficient and exponents were found with the help of experiments, e.g. on sandy soils, in these values:

$$a' = 2,86, b = 0,62, c = 0,22, d = 0,25.$$

From the resulting equation we can deduct the expression for the evaluation of the beginning of the runoff with different rainfall intensities and different slopes.

$$O_t = 1 - \frac{a'}{i^b \cdot t^{cI^d}}$$

for  $O_t = 0$

$$T = \frac{a'}{i^b \cdot T^{cI^d}}$$

where  $T$  — beginning of the surface runoff after start of rainfall.

The deducted equations are valid in the limits of intensity between 0,3 — 3,0 mm/min, the duration of rainfall

for  $i = 0,3$  mm/min — 0 — 240 min,  
0,5 mm/min — 0 — 240 min,  
0,75 mm/min — 0 — 180 min,  
1,0 mm/min — 0 — 120 min,  
2,0 mm/min — 0 — 60 min,  
3,0 mm/min — 0 — 45 min,  
slope 2 — 10°.

The found relation has qualitative characteristics. On small runoff areas, which were used for the experiments, only a qualitative relation between the runoff and the rainfall intensity and duration can be found in different conditions of declivity and soil. Now it will be necessary to determine on areas of greater length, the influence of the length of slope on the magnitude of runoff, and also to discover the relation between the runoffs from artificial and natural precipitations. By this we shall obtain the necessary foundation for the determination of the magnitude of critical runoffs by one of the above mentioned methods.

#### REFERENCES

- (<sup>1</sup>) COOK H. L. — The infiltration approach to the calculation of surface runoff, *Trans. Amer. Geoph. Union*, 1946.
- (<sup>2</sup>) MEZENCEV V.S. — K teoriji formirovanija poverchonostnogo livnjevog stoka so sklonov, *Meteorologija i gidrologija* 1948.
- (<sup>3</sup>) KOSTJAKOV A.N. — Osnovy melioracij, *Selchozgiz Moskva* 1951.

# ESSAI D'ESTIMATION DE L'ÉROSION DU SOL EN POLOGNE

PROF. DR. ING. KAZIMIERZ DEBSKI  
*Haute Ecole d'Agriculture. Varsovie. Pologne*

Un rapport du Dr agrégé Anna Reniger (de Pulawy, Pologne) sur les études des phénomènes de l'érosion des sols en Pologne(\*), a été présenté à l'assemblée générale de notre Association tenue en 1951, à Bruxelles.

L'auteur a examiné les conditions de l'érosion du sol, portées pour chaque cas particulier sur des cartes au barème de 1.100000; adoptant ensuite un barème de 8 classes de l'intensité de l'érosion du sol, l'auteur a défini pour chaque feuille des cartes un numéro de la classe approprié, moyenne des calculs de l'intensité du phénomène. Les résultats obtenus sont présentés sur une carte du pays, annexée au rapport du dr A. Reniger.

Dans ses recherches suivantes dr. A. Reniger a subdivisé la classe primaire 6 en deux classes qui ont obtenu les numéros 6 et 7, tandis que les deux classes suivantes 7 et 8 ont reçu les numéros 8 et 9.

Il en résulte que les classes suivantes de l'intensité de l'érosion du sol ont été distinguées :

1. Ce ne sont que des phénomènes locaux de l'érosion qui apparaissent sur des surfaces de peu d'étendue.
2. L'érosion est insignifiante, elle n'est assez intensive que localement.
3. L'érosion est insignifiante jusqu'à un degré modéré; elle est intensive parfois particulièrement sur les versants des moraines frontales.
4. L'érosion superficielle est modérée, et l'érosion qui provient d'un lessivage localement intensive.
5. L'érosion se produit généralement et assez intensivement, particulièrement sur les rendzines.
6. L'érosion sur les terrains montagneux et dans les régions situées au pied des montagnes passant de la modération à l'intensité sur les pentes jusqu'à 7°.
7. L'érosion sur les terrains montagneux et dans les terrains situés au pied des montagnes est modérée, passant à une intensité considérable. Cette dernière est affaiblie par le boisement des sommets ainsi que des parties supérieures des pentes, dans le cas où les pentes dépassent 7°.
8. L'érosion modérée sur les terrains montagneux et sur les terrains situés au pied des montagnes atteint un degré très intensif sur les pentes dépassant 7°, le boisement ne l'affaiblissant point.
9. L'érosion intensive et même très intensive parfois, superficielle et provoquée par le lessivage. La fréquence des ravins — ce qui a lieu, le plus souvent, sur les loess.

Les classes particulières se rapportent aux régions suivantes de la Pologne.

(\*) A. RENIGER. Soil erosion investigations in Poland. Rapports et comptes rendus des Séances de la Commission d'Erosion du Sol. Publication nr. 33 de l'A. I. d'H. Page 68.



Numéro de la classe		Superficie de la Pologne en pourcents	Étendue du terrain km <sup>2</sup>
actuel	1951		
1	1	59,0	183 900
2	2	4,7	14 630
3	3	16,5	51 500
4	4	2,4	7 480
5	5	3,5	10 900
6	6	1,7	5 300
7	6	1,9	5 920
8	7	3,4	10 600
9	8	6,9	21 500
— — — — —		100,0	311 730

Afin d'évaluer l'érosion du sol au point de vue quantitatif, il fallait substituer le barème qualificatif du dr Anna Reniger à un barème quantitatif, c'est-à-dire que pour chaque classe d'intensité du phénomène il faudrait définir l'intensité de l'érosion du sol en t/km<sup>2</sup> de la superficie du pays.

Dans l'ouvrage présenté ce problème a été réalisé sur la base des résultats des recherches se rapportant aux phénomènes du transport des graviers et les boues dans quelques torrents et fleuves polonais.

#### INTENSITÉ DE L'ÉROSION DU SOL SUR LES TERRAINS INCLUS DANS LA 8<sup>me</sup> CLASSE.

Il a été constaté que le bassin versant du torrent Lukowica, dans la bassin du Dunajec (affluent de la Vistule) appartient à la 8<sup>me</sup> classe d'intensité.

Le réservoir, formé devant le barrage, dans le but d'arrêter les transports des graviers, à Lukowica s'est rempli de graviers pendant la période de 8 années à partir de l'établissement de ce barrage.

A un poids spécifique de 1,565 t/m<sup>3</sup>, ceci correspond à 192 t/km<sup>2</sup> du bassin versant annuellement.

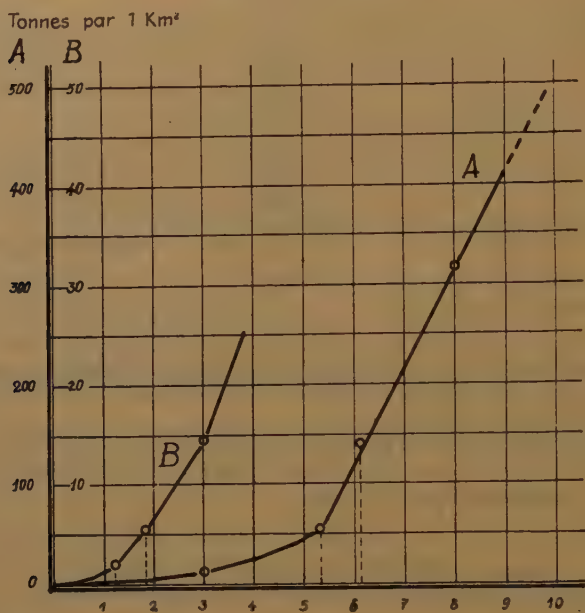
Le réservoir à capacité de 6010 m<sup>3</sup>, formé devant le barrage du Swidnik Tego-borski (torrent dans le bassin du Dunajec) a été encombré de graviers 611 m<sup>3</sup>/ an en moyenne, ce qui correspond environ à 940 t/an. C'est en divisant ce chiffre par la surface du bassin qu'on obtient 191 t/km<sup>2</sup> par an — transport moyen des gros graviers dans le réservoir.

Ce sont les gros graviers qui s'arrêtent généralement derrière le barrage; les matières plus fines sont charriées par l'eau à travers les orifices dans le barrage et au-dessus du barrage. La quantité des ces matières peut être déterminée d'après les résultats des mesuréments des boues ou troubles tenus en suspension, ce qui a été effectué sur le Dunajec en amont du réservoir de Rożnów.

On a déterminé une quantité moyenne annuelle des troubles tenus en suspension sur le Dunajec, près de Kroscienko /bassin à surface de réception de 1583 km<sup>2</sup>, classe évaluée en moyenne à 6,1/ sur la base des mesuréments effectués depuis 1947 jusqu'à 1953. Cette quantité monte à 203222 t, ce qui correspond à 128,1 t/km<sup>2</sup> du bassin par an, des troubles tenus en suspension.

C'est ainsi qu'il faudrait évaluer l'écoulement des troubles tenus en suspension à Lukowica et Swidnik Tegoborski. Compte tenu des notions précédentes, on constate que l'exportation des graviers et des boues des terrains appartenant à la 8<sup>me</sup> classe monte à 320 t/km<sup>2</sup>, ce qui représente le somme de l'exportation des sables et des graviers, roulés sur le fond au chiffre de 192 t/km<sup>2</sup>.

#### L'intensité de dénudation



Classes d'intensité de dénudation selon Dr. A. Reniger.

#### Intensité de l'érosion du sol sur les terrains appartenant à la 6<sup>me</sup> classe.

L'intensité de l'exportation des troubles tenus en suspension est de 128 t/km<sup>2</sup>/an sur le terrain du bassin versant du Dunajec à Kroscienko, appartenant à la 6,1 classe.

La quantité des graviers roulés sur le fond peut être estimée d'après les méseurements faits sur le Dunajec à Nowy Sacz, situé à l'aval de Kroscienko.

Selon les calculs de l'ingénieur W. Pietruszewski/ « Gospodarka Wodna » 1955. Z.1/, 72760 t. de gros graviers étaient transportés d'un bassin fluvial de 4312 km<sup>2</sup>, ce que correspond à 16,9 t/km<sup>2</sup>/an.

Le transport annuel total est la somme des troubles tenus en suspension (128 t/km<sup>2</sup>) et des graviers roulés sur le fond (16,9 t/km<sup>2</sup>), ce qui fait 144,9 t/km<sup>2</sup>, approximativement 145 t/km<sup>2</sup>.

Le nombre des gros graviers dans ce profil monte à 17 % de la masse du transport total.

#### Intensité de l'érosion du sol dans le bassin du San. [classe déduite 5,3]

Les mesurements ont été effectués à Radomysl, dans les environs de l'embouchure du San tombant dans la Vistule /Bassin fluvial de 16750 km<sup>2</sup>/. Dans la période

des 5 années — de 1950 à 1954 — la quantité moyenne annuelle des troubles tenus en suspension s'exprimait, dans cette section, par le chiffre de 902542 ton/an, ce qui correspond à un charriage des troubles tenus en suspension de 54 ton/an de la surface d'un km<sup>2</sup>. Il faudrait y ajouter le charriage des graviers, roulés sur le fond montant à 3 ton/km<sup>2</sup>.

Le transport complet des matières érodées à Radomysl atteint approximativement 57 ton/km<sup>2</sup> annuellement.

*Intensité de l'érosion du sol dans le bassin de la Pilica (classe évaluée en moyenne à 1.8)*

Des mesures ont été effectuées non loin de l'embouchure de la Pilica, affluent de la Vistule dans la section transversale, limnimétrique à Warka (bassin fluvial de 8987 km<sup>2</sup>).

Il a été constaté au moyen de mesures que l'écoulement moyen annuel des troubles tenus en suspension est de 7,7 tonnes/km<sup>2</sup>. Après avoir ajouté à ce chiffre presque 5 % de la quantité des sables roulés sur le fond, on obtient la quantité annuelle du transport solide fluvial montant à 8,1 tonnes /km<sup>2</sup>/ an approximativement.

*L'intensité de l'érosion du sol dans le bassin de la Warta  
(classe évaluée-en moyenne à 1,2).*

Les mesures effectuées à Gorzow non loin de l'embouchure où la Warta tombe dans l'Oder (bassin fluvial de 51893 km<sup>2</sup>, classe 1.2).

On y a mesuré dans la période de 1946-1953 la moyenne annuelle des troubles tenus en suspension montant à 117788 tonnes provenant de toute la surface du bassin, ce qui correspond au transport des troubles tenus en suspension de 2,27 t/km<sup>2</sup>. En y ajoutant 3 % pour le compte du transport des sables roulés sur le fond, on obtient la quantité annuelle des transports solides — 2,27 + 0,07 = 2,34 t/km<sup>2</sup>.

*Accumulation des alluvions dans l'embouchure de la Vistule.  
[Bassin fluvial de 193170 km<sup>2</sup>, classe 3.0].*

A partir de 1841 jusqu'à 1953 la Vistule a charrié dans la Baltique près de 207 millions d'alluvions. Ce chiffre correspond approximativement à une accumulation annuelle de 1,84 millions des m<sup>3</sup>.

Compte tenu du poids spécifique de 1,56 t/km<sup>3</sup> ceci monte à 2,87 millions de tonnes de l'entité du bassin fluvial, c'est-à-dire approximativement 14,9 t d'un km<sup>2</sup> du bassin fluvial par an.

*Le calcul des indices de l'érosion du sol.*

Les calculs de l'intensité peuvent être exprimés au moyen d'un graphique :  $y = f(x)$ , où  $x$  — est le numéro de la classe d'intensité suivant le barème du dr. A. Reniger,  $y$  — l'intensité de l'érosion du sol, en tonnes par an et 1 km<sup>2</sup>.

On a déterminé la forme de la fonction en portant sur le graphique fig. 1, avec le système des coordonnées rectangulaires six paires de valeurs variables, ci-dessus déterminées.

Après le lissage du graphique on a déchiffré les intensités suivantes :

Numéro de la classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Intensité du l'érosion du sol t/km <sup>2</sup> /an	1,32	7,25	14,9	28,8	49	123	218	320	427

En multipliant l'intensité par l'étendue du terrain dans chaque classe d'intensité il est possible de déterminer le rang du volume de la masse érodée charriée chaque année dans les lits des fleuves et des torrents (sans lessivage et érosion superficière qui n'a pas encore été transportée dans les lits des cours d'eau.)

Le tableau contient les calculs suivants :

Numéro de la classe d'intensité	Surface dans la classe donnée (km <sup>2</sup> )	Intensité du transport	Masse du transport en milliers de t/an	Indice de l'érosion du sol mm
1	183900	1,32	241	0,0009
2	14630	7,25	106	0,005
3	51500	14,9	765	0,010
4	7480	28,8	216	0,018
5	10900	49,0	534	0,031
6	5300	123,0	650	0,08
7	5920	218,0	1290	0,14
8	10600	320,0	3390	0,20
9	21500	427,0	9160	0,27
Total	311730	52,5	16352	0,034

Le volume des graviers charriés chaque année dans les lits des torrents et des fleuves de Pologne monte approximativement à 16,3 millions de tonnes sur l'étendue de tout le pays.

Ceci correspond à une intensité moyenne de l'érosion du sol de 52,5 t/km<sup>2</sup>/an, et à un indice de l'érosion du sol de 0,034 mm annuellement.

Ce n'est qu'une partie du volume indiqué qui pénètre dans la mer. La Vistule accumule chaque année à son embouchure 1,84 millions de m<sup>3</sup> des alluvions provenant des 193170 km<sup>2</sup> de la surface de son bassin. L'indice de l'érosion du sol correspondant est de 0,01 mm/an.

Si l'on pouvait accepter le même indice également pour le reste de la surface de la Pologne, le volume total des alluvions fluviales accumulées dans la mer Baltique descendant du terrain de la Pologne serait égal à 3,12 millions de m<sup>3</sup>, ce qui correspond à 4,87.10<sup>6</sup> tonnes de débris de roches.



# KRITISCHE REGENINTENSITÄTEN UND BODENEROSION IN DEUTSCHLAND

## CRITICAL RAINFALL INTENSITIES AND SOIL EROSION IN GERMANY

H. KURON

Giessen

### SUMMARY

Under the moderate climate conditions of Germany rainfall intensities oscillate to a great deal about the lower limit of intensity which causes soil erosion to begin. Therefore several secondary factors are also important for the development of this process. Such factors are chiefly: mechanical composition of soil, soil moisture at the beginning of the rainfall, structure of soil surface and its stability when wetted. During one rainfall short intensity peaks can influence remarkably the total erosion effect.

There was given the opportunity of investigating these relations in runoff and erosion measurements conducted for several years on bare plots with slopes of 9 to 13 percent. Such slopes are widely spread in arable land areas of Germany. Most results were got for loess loam. Investigations on sandy silt loam (weathering of New Red sandstone) and slightly stony silt loam (weathering of slate) could be used for comparison.

On plots with plant cover the relations are still more complicated by root and shelter (interception) effects, which are governed by type and development of plants.

Auch in dem gemäßigten Klima Deutschlands spielt die Bodenerosion durch Wasser auf Ackerland eine beachtliche Rolle. Sie tritt überwiegend in Form von Schichterosion bzw. verstärkter Schichterosion auf. Hierüber wurde bereits im Jahre 1954 in Rom berichtet <sup>(1)</sup>. Die dort erwähnten Messungen wurden inzwischen fortgesetzt. Die Ergebnisse bis zum Jahre 1955 wurden inzwischen veröffentlicht <sup>(2)</sup>. Sie wurden ergänzt durch regionale Untersuchungen über die Auswirkung der Bodenerosion auf Lössböden <sup>(3)</sup>. Ferner wurde in verschiedenen Gebieten Deutschlands nach einer einheitlichen Methode der Einfluß der durch Erosion bedingten Verstümmelung von Bodenprofilen (Verlust der Ackerkrume) auf die Ernteerträge ermittelt <sup>(4)</sup>. Durchweg zeigten erodierte Hangböden bemerkenswerte Ertragsdepressionen.

Für die Beurteilung des zeitlichen Ablaufs der Bodenerosion und die Planung von Maßnahmen zur Bodenerhaltung ist es von Interesse, genauere Vorstellungen über die Kennzeichen kritischer Regenfälle zu besitzen. Darunter sollen Regenfälle verstanden werden, die deutliche Abtragsverluste auslösen, deren Wirkung nicht in kurzer Zeit durch Bearbeitung und Düngung ausgeglichen werden können.

Die Lösung dieser Aufgabe ist nicht leicht. Der Ablauf und die Wirkung jedes einzelnen Erosionsvorganges ist bestimmt von einer Reihe von sehr veränderlichen Faktoren. Der Regenfall selbst ist gekennzeichnet durch die Regenmenge und die Regenintensität. Zur Kennzeichnung der letzteren reicht oft der Durchschnittswert nicht aus, wenn während eines Regens ausgeprägte Intensitätsspitzen auftreten, die den Gesamteffekt der Erosion entscheidend bestimmen können.

Die physikalische Beschaffenheit (Bodenart und Struktur) des Oberbodens ist ferner von großer Bedeutung für das Verhältnis von Versickerung und Abfluß. Ferner erwies sich die Feuchtigkeit des Oberbodens bei unseren Messungen als sehr wesentlich für das Zustandekommen und das Ausmaß der Bodenerosion. Allgemein

gilt, daß mit zunehmender Feuchtigkeit des Oberbodens die Neigung zur Erosion zunimmt, d.h. es genügen geringere Regenmengen und -intensitäten, um deutliche Bodenverluste auszulösen (?). Pflanzenbestände verschiedener Art machen dann die Beziehungen noch verwickelter. Unter praktischen Verhältnissen kommt hinzu der Einfluß des Gefälles, der Länge und der Form der Hangflächen.

Brauchbare Anhaltspunkte für die Beurteilung der Regenfälle hinsichtlich der Erosionsgefahr lassen sich daher nur unter einigermaßen vergleichbaren Bedingungen gewinnen. Hierfür wurden diejenigen Bedingungen gewählt, wie sie bei den drei Erosionsversuchsfeldern vorliegen, auf denen seit 1951 Messungen ausgeführt werden. Die Parzellen besitzen Gefälle zwischen 9 % und 11 %. Dies sind Gefälle, die auf dem Ackerland Deutschlands weitverbreitet sind. Die Größe der Parzellen beträgt 16 m<sup>2</sup> (Länge : 8 m, Breite : 2 m). Dies bedingt, daß auf ihnen kein wesentlicher Zusammenfluß von Oberflächenwasser stattfindet, daß also die auf ihnen ermittelten Abtragszahlen nahezu Minimalwerte darstellen. Andererseits kann gesagt werden, daß die für sie festgestellten kritischen Regenkennwerte auch für Flächen mit geringerem Gefälle, aber mit größerer Hanglänge angenähert gültig sein werden, wie sie unter praktischen Verhältnissen vorliegen.

Die Böden der drei Versuchsfelder sind : I. Lösslehm, II. Steinhaltiger Schlufflehm (Schieferverwitterung), III. Sandiger Schlufflehm (Buntsandsteinverwitterung). Die mechanische Zusammensetzung der Feinerde (< 2 mm) der Böden ist folgende :

TABELLE I

Feld :	I	II	III
Ton (< 0,002 mm)	24,9 %	25,3 %	6,9 %
Staubschluff (0,002 — 0,06)	62,9	54,1	45,9
Feinsand (0,06 — 0,2)	11,5	6,2	25,7
Grobsand (0,2 — 2,0)	0,7	14,4	21,5

Auf Grund vergleichender Beobachtungen unter praktischen Verhältnissen wurden für die Untersuchungen Regenfälle herangezogen, die auf den Parzellen ohne Bewuchs Bodenverluste um 1000 kg/ha und darüber bedingen. Die Zahlen sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Die Werte der letzten Spalte (7) lassen zunächst erkennen, daß der Abtrag auf dem Lösslehm (Versuchsfeld I) am größten ist. Es folgt der sandige Schlufflehm (Feld III) und schließlich der steinhaltige Schlufflehm (Feld II). Hierin kommt der Einfluß der mechanischen Zusammensetzung der Böden zum Ausdruck, worüber an anderer Stelle eingehender berichtet wird.

Eine Betrachtung der Spalte 5 zeigt, daß in der Mehrzahl der Fälle ein starker Abtrag auftritt, wenn die Regenintensitäten 0,3 mm/min erreichen bzw. überschreiten. Intensitäten von 0,2 bis 1 mm/min sind am häufigsten bei den heftigen Regenfällen die im späten Frühjahr und im Sommer meist mit Gewittern verknüpft sind. Höhere Werte werden insbesondere in kurzen Intensitätsspitzen einzelner Regen erreicht. Die Dauer der Regenfälle liegt überwiegend zwischen 10 und 30 Minuten, wobei diese im allgemeinen im umgekehrten Verhältnis zur Intensität steht. Von den hier mitgeteilten 22 Regenfällen fallen 14 in diese Spanne der Regendauer (Nr. 1 bis 9, 11, 13, 16, 18 und 19). Die Zahlen können als typisch für die Verhältnisse des deutschen Mittelgebirgsgebietes angesehen werden.

TABELLE 2

1. Nr.	2. Datum	3. Bodenzustand	4. Regenmenge mm	5. Intensität mm/min	6. Abfluß %	7. Abtrag kg/ha
VERSUCHSFELD I						
1	15.8.52	sehr feucht	12,2	1,39	19,8	3527
2	27.8.55	trocken	34,0	1,13	> 40+)	15625
3	25.7.51	sehr feucht	17,0	0,85	27,6	3458
4	18.7.55	feucht	17,8	0,59	23,5	1281
5	8.8.51	sehr feucht	7,0	0,58	13,4	1046
6	24.7.51	feucht	16,3	0,54	24,0	3063
7	13.8.53	sehr feucht	10,1	0,40	24,0	2327
8	19.6.51	feucht	11,0	0,37	22,2	2250
9	4.8.51	sehr feucht	9,0	0,30	54,2	4222
10	4.8.51	trocken	19,0	0,16	18,1	4031
						+ ) nicht voll erfaßt
VERSUCHSFELD II						
11	6.8.54	sehr feucht	14,1	0,67	20,0	943
12	25.6.53	feucht	49,6	0,66	22,7	2094
13	18.7.55	feucht	8,0	0,50	55,0	938
14	7.6.53	sehr feucht	10,6	0,15	20,9	931
15	4.7.53	sehr feucht	21,6	0,07	42,8	1334
VERSUCHSFELD III						
16	18.7.55	trocken	20,0	0,80	84,5	10180
17	6.6.56	sehr feucht	18,6	0,31	67,0	4753
18	7.6.56	sehr feucht	9,0	0,30	79,8	2251
19	28.8.56	feucht	7,4	0,24	60,8	919
20	17.7.56	feucht	18,5	0,23	71,6	3713
21	3.7.56	feucht	26,6	0,10	41,4	1113
22	19.7.56	feucht	6,5	0,08	72,0	963

Einen Sonderfall stellt Regen Nr. 2 dar, bei dem eine Regenintensität von 1,13 mm/min mit einer relativ hohen Regendauer von rd. 30 min kombiniert ist. Hieraus erklärt sich der Höchstwert des Abtrages von 15625 kg/ha bei einem Abfluß von mehr als 40 %, obwohl der Boden bei Eintritt des Regens trocken war. Ähnliches gilt für Regen Nr. 12, dessen Dauer 75 min betrug.

Wo Regen mit geringeren Durchschnittsintensitäten einen starken Abtrag auslösten, lagen ausgeprägte Intensitätsspitzen während des Regensfalls vor, so bei den Regen Nr. 10 und 15. Bei Regen Nr. 15 kommt hinzu, daß der Boden durch vorangehende Regenfälle stark durchfeuchtet und verschlämmt war. In dem hohen Abtragswert bei Regen Nr. 10 kommt die große Empfindlichkeit des Lösslehms zum Ausdruck.

Deutlich kommt die Bedeutung des Feuchtigkeitszustandes der Böden bei Beginn des Regens zum Ausdruck. Nur bei den extremen Bedingungen der Regen Nr. 2 und 16 (hohe Regenmenge, hohe Intensität) tritt erheblicher Abtrag bei anfangs

trockenem Boden auf. Auf die besonderen Verhältnisse bei Regen Nr. 10 wurde schon hingewiesen. Sonst lag der Abtrag nur dann bei oder über dem hier angesetzten Grenzwert, wenn die Böden feucht bis sehr feucht waren. Die Angaben für den steinhaltigen Schlufflehm lassen wieder seine geringere Neigung zum Abtrag erkennen. Es konnte hier nie ein stärkerer Abtrag festgestellt werden, wenn der Boden anfangs trocken war. Bei dem empfindlichen Lösslehm (Feld I) zeigt sich besonders deutlich der Einfluß der Bodenfeuchtigkeit für Regen Nr. 9. Die Intensität ist mäßig, die Regenmenge gering, doch war der Boden durch den vorangehenden Regen Nr. 10 extrem vernäßt. So kam es zu dem hohen Abtrag von 4222 kg/ha bei einem Abfluß von 54 %. Auch die hohen Abtrags- und Abflußwerte bei Regen Nr. 17 auf Feld III erklären sich aus der hohen anfänglichen Durchfeuchtung des Bodens.

Interessant ist der Vergleich der Regen Nr. 9 (Feld I) und 18 (Feld III). Sie besitzen gleiche Menge und Intensität und trafen beide einen stark durchfeuchteten Boden. Der Abfluß auf dem sandigen Schlufflehm (Feld III) erreichte hier rd. 80 % gegenüber 54 % beim Lösslehm (Feld I). Umgekehrt war bei ihm der Abtrag bedeutend geringer als beim Lösslehm. Dies erweist die schon früher beobachtete geringere Abtragsintensität bei Böden mit hohem Sandgehalt (\*).

Der Einfluß des Witterungsverlaufes innerhalb einer längeren Zeit kann aus den Zahlen für die Regen Nr. 19 bis 22 (Feld III) abgelesen werden. Der Sommer 1956 war im Bereich dieses Feldes sehr feucht. Zahlreiche schwächere Regen bewirkten eine fortschreitende Verschlämmung der Bodenoberfläche und eine Verminderung des Einsickerungsvermögens. So führten hier auch Regen mit mäßiger Intensität und z.T. geringer Menge zu beträchtlichem Abtrag und Abfluß (41 bis 72 %).

Besonders stark ist der Einfluß einer Vegetationsdecke unter den gemäßigten klimatischen Verhältnissen Deutschlands auf Abfluß und Abtrag. Als Beispiel hierfür seien Messungen bei dem extremen Regen Nr. 2 (Feld I) angeführt. Auf sechs Parzellen ergaben sich dabei folgende Werte (Tab. 3).

TABELLE 3

	Abfluß %	Abtrag kg/ha
Ohne Pflanzenbestand	> 40	15625
Haferstoppel, Reihen im Gefälle	10,3	450
» mit Kleeuntersaat	0	0
Mais, Reihen im Gefälle	3,8	122
» Reihen quer zum Gefälle	3,5	62
Luzerne, gemäht, etwas lückig	2,6	162

Wie ersichtlich, unterdrückte eine dichte, gut entwickelte Kleeuntersaat Abfluß und Abtrag selbst bei diesem Regen vollkommen. Hierin kommt die Wirkung der Abschirmung des Bodens durch das Blätterdach zum Ausdruck. Ähnliches gilt für den Maisbestand. Immerhin zieht sich der Einfluß der Richtung der Reihen in den Abtragszahlen. Die Haferstoppel ohne Untersaat wirkte sich durch eine Hemmung des Wasserabflusses und eine Festlegung des Bodens aus. Die Luzerne war bereits alt und lückig, und der Boden war stark verdichtet. Dies erklärt bei zwar geringem Abfluß den immerhin merklichen Abtrag.



Messungen dieser Art wurden seit mehreren Jahren auf allen Versuchsfeldern ausgeführt und gaben wertvolle Hinweise für die zweckmäßige Bewirtschaftung von Feldern in Hanglagen unter praktischen Verhältnissen. Über die Ergebnisse wurde kürzlich eingehend berichtet <sup>(2)</sup>. Sie zeigten, daß unter den Verhältnissen Deutschlands nur Böden einer merklichen Erosion unterliegen, die ohne Bestand sind oder auf denen die Bedeckung durch Pflanzen unvollkommen ist (Kartoffeln, Rüben, Mais, Mohn u.ä. im frühen Entwicklungsstadium).

Faßt man die Befunde für die oben gekennzeichneten Bedingungen zusammen, so kann gefolgert werden, daß für hängige Lagen mit Ackerland in Deutschland Regenfälle mit Intensitäten über 0,2 mm/min bei Regenmengen über 10 bis 15 mm deutliche Bodenverluste auslösen können. In besonderen Fällen, z.B. an konkaven Hängen mit großem Einzugsgebiet können schon geringere Intensitäten als kritisch bezeichnet werden. Dies gilt insbesondere auch dann, wenn ein empfindlicher Boden sehr feucht und verdichtet ist. In jedem Fall ist bei Intensitäten über 0,3 mm/min bei den untersuchten Böden mit beträchtlicher Erosion zu rechnen.

Für den gesamten Erosionseffekt ist in Deutschland noch der Abtrag bei der Schneeschmelze zu berücksichtigen, besonders wenn Regenfälle den gefrorenen, undurchlässigen Boden treffen. Dies geschieht nicht selten. Hierüber liegen umfangreiche qualitative Beobachtungen vor, die allerdings noch nicht durch exakte Messungen ergänzt werden konnten.

#### SCHRIFTTUM

- <sup>(1)</sup> H. KURON : Ergebnisse von 15-jährigen Untersuchungen über Bodenerosion durch Wasser in Deutschland. *Veröff. Nr. 36 der Internat. Assoziation für Hydrologie, Generalversammlung Rom 1954*, Bd. I, 220.
- <sup>(2)</sup> H. KURON, L. JUNG, H. SCHREIBER : Messungen von oberflächlichem Abfluß und Bodenabtrag auf verschiedenen Böden Deutschlands. *Schriftenreihe des Kuratoriums für Kulturbauwesen*, Heft 5 (1956).
- <sup>(3)</sup> H. J. STEINMETZ : Ausmaß des Bodenabtrages in einem Teilgebiet der Wetterau und Vorschläge zur Verhütung der durch ihn entstandenen Schäden. *Archiv für Raumforschung in Hessen*, Jahrg. 1955, Heft 4/6 (1956).
- <sup>(4)</sup> L. JUNG : Untersuchungen über den Einfluß der Bodenerosion auf die Erträge in hängigem Gelände. *Schriftenreihe für Flurbereinigung*, Heft 9 (1956).
- <sup>(5)</sup> H. KURON : Löss und Bodenerosion. *Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde* 50 (1950), 74.

# PREDICTING EROSION AND SEDIMENT YIELDS

L. C. GOTTSCHALK \*

## SUMMARY

The causal factors related to erosion, transportation and deposition of sediment are outlined briefly as a basis for evaluating the influence of climate and man on erosion and sediment movement.

Available basic data in the United States are summarized and present status of basic data collection and research is outlined. Some results of measurements on effects of watershed land treatment measures in reducing erosion and sediment movements are discussed. Procedures for determining relative sources of sediment and evaluating effects of land treatment and structural measures in reducing sediment yields for small watershed projects by the Soil Conservation Service are discussed.

## GENERAL

The processes of erosion, entrainment, transportation, and deposition of sediment are complex and it follows that the prediction of erosion and sediment yields will be equally complex if reasonable results are to be expected. Much research remains yet to be done before the fundamental processes of erosion, entrainment, transportation, and deposition are fully understood. Predictions of erosion and sediment yields are estimated on the basis of available basic data and the best judgment of the technician, which is determined by his experience and his basic knowledge of the processes involved.

Erosion is defined as the general process of the wearing away of rocks of the earth's surface by natural agencies. This implies soil as well as geologic materials. Sediment yield is defined as the total amount of eroded materials delivered to a given point in a natural watershed. Erosion and sediment yield are not synonymous because of progressive deposition of eroded materials enroute from point of origin to point under consideration in a watershed.

It is the purpose of this paper to point out some of the factors which must be considered in predicting erosion and sediment yields from watersheds, to summarize our present state of knowledge, and to present an outline of the methods in general use today to predict erosion and sediment yields in the United States.

## KINDS OF EROSION

For simplification, erosion may be classified into two general types — sheet erosion and channel erosion. This classification is expedient for: (1) Estimating amounts of erosion, (2) delineating relative sources of sediment, (3) formulating recommended treatment measures to reduce erosion, and (4) evaluating the effects of applied treatment measures.

Sheet erosion implies the removal of material from the land surface by pre-channel or overland flow. The process of sheet erosion is initiated by detachment of soil particles by raindrop impact and removal of these particles by pre-channel

\* Staff Geologist, Division of Engineering, Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture.

flow. Ellison <sup>(3)</sup> has shown the tremendous kinetic energy exerted by raindrop impact which can be defined by the following equation:

$$E = KV^{4.33} d^{1.07} I^{0.65}$$

where E = grams of soil intercepted in splash samplers during a 30 minute period  
V = velocity of drops in feet per second  
d = diameter of drops in millimeters  
I = intensity of rainfall in inches per hour  
K = a constant

In 1946 a group of research specialists in the U. S. Soil Conservation Service reviewed and analyzed the soil loss measurements for some 40,000 storms occurring on fractional acre plots located at 20 erosion experiment stations in the United States. The results of the analysis were reported by Musgrave <sup>(6)</sup>. These studies led to the development of the following equation for estimating the rate of sheet erosion under variable conditions:

$$E = IRS^{1.35} L^{0.35} P^{1.75}$$

where E = soil loss in acre-inches  
I = inherent erodibility of the soil in inches  
R = cover factor  
S = degree of slope in percent  
L = length of slope in feet  
P = maximum 30-minute intensity rainfall, 2-year frequency in inches.

The above equation is used extensively today by the U. S. Soil Conservation Service for determining allowable soil losses for particular farm fields and for estimating the onsite rate of sheet erosion on a watershed in connection with this agency's soil and water conservation programs. The total rate of sheet erosion on a watershed is determined by the summation of the onsite sheet erosion of individual, more or less, homogeneous increments.

More recently the data used by Musgrave, with additional data which have become available since the date of his analysis, have been subjected to another analysis. The latest developments in this field, together with indicated results, are outlined by D. D. Smith in a companion paper at this Assembly.

Channel erosion implies erosion by concentrated flow. It includes such types of erosion as gully erosion, valley trenching, streambank erosion, streambed degradation and floodplain scour. This type of erosion occurs through the energy exerted by concentrated flow augmented, to some extent, by mass movement and slumping of banks. The important factors influencing rate of channel erosion are the gradient, character of bed and bank materials, the hydraulic characteristics of flow, and the character and amount of sediment in transport.

Important strides have been made in respect to delineating the relative importance of the hydraulic factors and sediment characteristics which have a bearing on channel stability. Thus Einstein <sup>(2)</sup> has developed a function for estimating the rate of bedload movement which may be employed (with certain limitations) in estimating channel degradation in non-cohesive beds. Earlier Fortier and Scobey <sup>(4)</sup> developed basic information on permissible velocities for the design of stable channels in both cohesive and non-cohesive materials. The importance of the work of Einstein, Fortier, Scobey, and others working in this field cannot be overemphasized. However, the results to date are applicable to rather restricted types and reaches of channels, and the functions and criteria developed are not adequate to calculate estimated channel erosion for the myriad of conditions which occur in a watershed.

Channel erosion, unlike sheet erosion, leaves obvious scars which can be readily measured in the field. If the volume of net enlargement of these scars can be determined and the age of erosion established, the average rate of channel erosion in a watershed can be readily computed. This approach is customarily used by the U.S. Soil Conservation Service for estimating amounts of sediment derived from channel erosion in connection with watershed work.

#### PREDICTING EROSION

The methods used for estimating the rates of sheet erosion and channel erosion are also used for predicting future erosion with due consideration for man-made and natural changes which will have an influence on future rates of erosion. In respect to sheet erosion, the prevailing rates can be estimated by use of the Musgrave equation, and, if no appreciable changes of any of the factors in the equation are anticipated in the future, the prevailing rate is projected into the future to predict the rate of sheet erosion. If changes of any of the factors in the equation are anticipated, new values to represent anticipated changes are substituted into the equation and the calculation of the future rate becomes a matter of simple arithmetic. Of all the variables in the Musgrave equation, land use changes and installation of conservation practices, as they affect cover, the effective length of slope and, to some extent soil characteristics, represent changes in conditions which can readily be brought about by Man. Cover has a most profound effect upon erosion.

As may be seen from Table 1, a change in land use from intertilled crops to hay land or good pasture, results in a substantial reduction in sheet erosion. The addition of fertilizer, humus, and other soil-ameliorating measures influence soil characteristics, while contour plowing and terracing influence the effective length of runoff with corresponding reduction in erosion.

TABLE 1

Relative Amount of Erosion Under Different Vegetal Covers  
(Values apply to Pacific Northwest)

Crop or cropping practices	Relative Erosion
Forest duff	.001-1.0
Range or seeded pasture (good)	1-5
Orchards (a) Perennial cover, (b) Contoured with winter cover	5
Legumes—Grass hayland	5
Small grain (standing or stubble)	10
Wheat fallow (stubble mulch)	10
Small grain (adverse rain at or after seeding)	40
Wheat fallow (stubble burned)	90
Orchards—Vineyards (non-irrigated, clean tilled, no cover crop)	90
Row crops and fallow	100



Whereas land treatment measures have an appreciable effect in reducing sheet erosion, such measures normally have negligible effects in reducing channel erosion. As a general rule, reduction in channel erosion requires the installation of engineering structures such as diversions, channel rectification, drop structures, dams, streambank protection, sills, etc. The prediction of channel erosion where no control measures are anticipated is normally done on the basis of projecting the historical rate of erosion into the future. The installation of a structural measure to reduce a particular eroding portion of a channel must be considered on an individual basis. Normally structural measures are designed for complete, or nearly complete, reduction in erosion.

#### MOVEMENT OF ERODED MATERIALS

To generalize, it can be stated that sediment is transported in a stream in suspension and by rolling and bouncing along the bed. Suspension occurs when the resultant forces exerted by vertical flow exceed the fall velocity of the individual particle. Particles which cannot be held in suspension by the flow settle toward the bottom and are subject to transport as bed material load. That which is transported in suspension moves at the same velocity as the flow, whereas the rate of movement of the bed material load depends upon the grain size, bed roughness, and the tractive force acting upon the particle. Smaller particle sizes of bed material load are transported temporarily in suspension contacting the bed only occasionally, whereas the coarser particles are rolled more slowly along the bed.

The mechanics of transport have been under study in the hydraulic laboratory for many years starting with the work of DuBoys (<sup>1</sup>) in 1879. Developments in this field have been summarized by Vanoni (<sup>2</sup>). Most of the laboratory work has been confined to the study of movement of sand-size particles as bed load, and the many theoretical and empirical relationships which have been developed are applicable to rather limited particle and flow characteristics. The results of these studies are important from the standpoint of determining the stability of localized channels with moveable beds. However, they are not applicable for defining movement of sediment in watersheds. Although some attention has been given to the mechanics of entrainment and the movement of sediment in suspension, such information is useful only from the standpoint of understanding the mode of transportation and does not provide a basis for determining the amount of suspended load moving out of a watershed.

It is not the purpose of this paper to discuss the many ramifications of movement of sediment particles but rather to point out those factors which need to be considered in predicting sediment yield from a watershed.

Although shape and specific gravity have an influence on mode of transportation of sediment, the more important single-particle characteristic for a given flow is the grain size of the particle. The grain size, as well as other particle characteristics, is determined largely by the kinds of erosion in the watershed which influence not only the mode of transport for a given flow but also the concentration of sediment in the flow, the latter being the important consideration from the standpoint of predicting yield.

Materials derived from sheet erosion are inherently fine-grained since pre-channel flow, normally laminar, seldom exceeds 2 or 3 feet per second and is capable of transporting only the finer portions of particles detached by raindrop impact. Thus Ellison (<sup>3</sup>) reported that 95 percent of the sediment in pre-channel runoff from a silt loam soil in Ohio had a grain-size diameter of less than 0.05 mm, which is classed as silt and clay. In addition to selective erosion, which basically produces fine-

grained particles, the material which is eroded from an upland field passes through various additional sorting processes which tend to remove additional coarser-grained materials. Thus vegetative screens and breaks in slopes below farm fields result in deposition of the coarser materials as colluvium. The bulk of material produced by sheet erosion which finally reaches a stream channel system, consists of fine-grained material which is generally transported as suspended or wash load in concentrations far less than the discharge is actually capable of transporting. The concentration of these fine-grained materials, therefore, becomes a function of supply rather than a function of discharge.

Channel erosion, because of the energy exerted by turbulent flow, is capable of transporting much coarser sediment than sheet flow, and thus channel erosion becomes the principal source of coarser-grained particles in the sediment load. Sorting of particles occurs also in channel erosion as evidenced by fans, splays, point bars, etc., but not to the degree of general fineness of particles contained in pre-channel flow. The coarse-grained sediment derived from channel erosion contributes directly to the bed material load.

The movement of bed-material load is always in balance with the discharge. If the bed material is less than the flow is capable of transporting, the flow immediately attacks the channel walls to satisfy bed-load requirements of the flow. If the flow becomes over-loaded deposition occurs.

Since suspended load is a function of supply rather than a function of discharge, it can readily be seen that attempts to relate sediment concentration to discharge can sometimes lead to very questionable results. Discharge and suspended load are only indirectly related to each other because both result from rainfall in the watershed. Where the same discharge producing rainfall occurs over two totally different erosion potential areas in a watershed, it is to be expected that different concentrations of sediment might be found for equivalent discharges. Studies by the U.S. Soil Conservation Service show that in general, in humid agricultural areas, over 90 percent of the sediment in streams is derived from sheet erosion while in arid and semiarid areas most of the sediment is derived from channel erosion.

The processes of erosion, transportation, and deposition have a bearing on the delivery rate of eroded materials from point of origin to point under consideration in a watershed. These combined processes are, indeed, complex and it is doubtful that they will ever be completely subject to rational solution on a watershed basis. The extent of variations in an area such as a watershed precludes the physical possibility of measurement, even though such processes could be expressed mathematically. Thus other parameters, which encompass in a general way combinations of the hydrophysical conditions in watersheds, must be found to express the movement and delivery rate of sediment. Size of drainage, degree of channelization and the relief-length ratio of watersheds have been found by various investigators to be significant, in association and individually, as expressions of delivery rates. Studies now in progress show promise that partial solution to this perplexing problem is in the offing. Studies by the U.S. Soil Conservation Service indicate that the delivery rate in some areas of the country, particularly in humid agricultural areas, varies generally as the 0.8 power of the size of drainage area.

#### METHODS OF PREDICTING SEDIMENT YIELDS

Three methods of predicting sediment yields are in general use in the United States today. These are: (1) Transposition of data from comparative watersheds, (2) sediment-rating curves, and (3) estimating watershed erosion and delivery rates.

Each of these methods was developed with a specific purpose in mind. The first two were developed primarily to develop design for sedimentation requirements in structural works of improvement. The third method was developed to provide a basis for delineating the sources of sediment in a watershed in order to formulate needed land treatment measures and structural measures to alleviate erosion and sedimentation damages as well as for developing sediment design criteria. The adequacy of any one of the three methods depends upon the amount of basic data available, the time available to obtain supplementary basic data, and the purpose for which the results are to be used.

The transportation of measured sediment yield data from one watershed to predict the yield from another can be done with reasonable assurance of good results, if the unmeasured watershed is similar to the measured watershed in respect to size of drainage area, watershed, soils, cover, runoff, and other hydrophysical conditions. Similar watersheds, of course, are difficult to find, but occasionally uniformity of conditions may extend over a sufficiently large problem area to facilitate this type of prediction. Because of the difficulty of establishing similarity between watersheds the method is not widely used to predict sediment yields and needs no further amplification here.

Where sufficient time is available between the planning of a structure and development of final design, sediment-load measurements may be made at or near a proposed site and a sediment-rating curve developed for predicting sediment yield. The sediment-rating curve is developed by plotting the sediment concentration against the discharge. The relationship established is then used with a long-term flow-duration curve, for predicting future sediment yield at the site.

The sediment-rating curve often shows wide divergence from the mean for any given discharge. This is due to various reasons including variations in the location and intensity-duration and frequency of rainfall in the watershed which may have a more profound effect on the rate of sheet erosion than on the discharge. If during the sampling period enough measurements can be made to cover the expected ranges of discharges to be expected for the period of prediction, then reasonably good results are to be expected. Often relationships between sediment discharge and water discharge can be improved if the sediment-rating curves are developed for separate seasons of the year. Better relationships are obtained between sediment discharge and water discharge when the load is composed primarily of coarse-grained sediments derived from channel erosion as contrasted with a load composed primarily of silts and clays derived from sheet erosion and/or channel erosion.

Sediment-rating curves were developed specifically for determining the sediment load at a particular point in a watershed. They are of little value in delineating the relative sources of sediment in a watershed and, therefore, are not adequate for formulation of land treatment and structural measures to reduce erosion and movement of sediment to the site. Sediment-rating curves are used in the United States primarily for predicting sediment yield from large watersheds and major projects. When the elapsed time between inception of a project and the development of final design permits the installation and operation of sediment-load stations sediment rating curves can be used. They can also be used where the installation of land treatment and structural measures in watersheds above the structures is not anticipated to be extensive enough to affect appreciably the sediment yield during the life span of the structure.

Predicting sediment yield on the basis of erosion and delivery rate was developed by the U.S. Soil Conservation Service to meet the needs for the programs carried out by this agency. These programs visualize a comprehensive approach to watershed treatment including a combination of land treatment and structural measures, for maximum reduction of erosion, floodwater and sedimentation damages at least



cost. This approach requires that erosion and the sources of critical sediment be delineated in the small watershed in order to properly formulate the necessary land treatment and structural measures needed to reduce erosion, floodwater, and sedimentation damages. This method also serves to evaluate the effectiveness of proposed erosion control measures in reducing erosion and sedimentation damages and to develop sediment requirements for design of structural works of improvement.

The relative sources of sediment are determined on the basis of the rates of onsite sheet and channel erosion occurring in the watershed. The sediment yield is estimated on the basis of the expected sediment delivery rate from point of origin of sediment to point under consideration in the watershed. The results of analytical studies leading to the development of this method of predicting sediment yield were summarized by Glymph <sup>(5)</sup> for the Rome meeting of IUGG in 1954 to which the reader is referred for details.

Since many of the land treatment measures are installed in the watershed above structural measures prior to, or concurrent with, the installation of the structures, it becomes necessary to predict the effects of these measures on sediment yields in order to develop proper design requirements to eliminate costly overdesign. Thus it is not unusual to find that the installation of a good land treatment program above a structure will reduce the sediment yield as much as 80 percent.

#### AVAILABILITY OF BASIC DATA ON EROSION AND SEDIMENT YIELDS

A great deal of work has been done in the United States in respect to collection of basic data on erosion and sediment yields. Measurements of soil loss from fractional acre plots are being made currently in different parts of the country by various State Agricultural Experiment Stations and the Agricultural Research Service of the U. S. Department of Agriculture. As of 1956, the U. S. Agricultural Research Service was measuring soil losses from plots located at 27 different stations in the country. In addition, some 10,000 plot years of data, measured over the past 25 years, at 35 former research project locations, are available. The results of these measurements will be useful in further refining the relative effects of parameters related to sheet erosion and the extension of basic data to areas and soils formerly unmeasured. The U. S. Soil Conservation Service has recently accelerated its program of basic soil surveys and initiated assembly of data on soils, land use, slopes and conservation needs which provide a basis for estimating the erosion potential of much of the area of the United States.

The measurement of sediment loads of streams in the United States has been carried out primarily under the leadership of the U. S. Geological Survey. At the present time, this agency has in operation a total of 211 sediment-load stations, of which 151 are daily sampling comprehensive coverage stations and 60 are periodic sampling stations.

As of 1950, some observations of sediment load had been obtained at one or more stations on about 1,200 streams in the United States. An inventory of these stations is contained in reports issued by the Subcommittee on Sedimentation, Federal Inter-Agency River Basin Committee <sup>(6)</sup>. Much of the sediment-load information assembled to date still needs to be analyzed to determine long-term sediment yield rates and related to erosion conditions in the watersheds in order to realize full usefulness of these data.

Sediment yield measurements from 700 watersheds in the United States have been determined on the basis of surveys of the amount of sediment accumulated in reservoirs and ponds. Many of these surveys were made by the U. S. Soil Conservation Service in order to obtain long-term rates of erosion and sediment yields.



The results of all reliable reservoir sedimentation surveys made in the United States through 1953 are summarized in a report recently issued by the Subcommittee on Sedimentation, Inter-Agency Committee on Water Resources <sup>(9)</sup>. Summary information on these data are being presented by A. F. Geiger at this Assembly.

## CONCLUSIONS

A great deal of progress has been made in the United States during the past two decades in respect to the problem of estimating and predicting erosion and the sediment yields of watersheds. The accuracy of predicting erosion and sediment yields for a specific set of conditions depends to a large extent upon the availability of basic and fundamental research. Each year witnesses an increase in the amount of basic data collected and the extent of research findings available. There is a great deal of both types of work yet to be done before we can reach the degree of accuracy really desired. Present progress points to further refinements in the future. Because of the inability to predict future climatic changes, changes in land use, changes in farming and forestry practices, etc., it can never be expected that infallible predictions of future erosion and sediment yields can be made. Only time can provide the answer as to whether the predictions that are made today hold true for the future.

## REFERENCES

- (1) DU BOYS, M. P. — Etude du Régime du Rhone et de L'action Exercée par les Eaux Sur un Lit a Fond de Gravier Indéfiniment Affouillable. *Annales des Ponts et Chaussées*. Series 5, Vol. 18, pp. 141-195. 1879.
- (2) EINSTEIN, H. A. — The Bedload Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows. U. S. Department of Agriculture, *Technical Bul.* 1026, 70 pp., illus. Sept. 1950.
- (3) ELLISON, W. D. — Some Effects of Raindrops and Surface — Flow on Soil Erosion and Infiltration. *Transactions, American Geophysical Union*, Vol. 26, No. 3, pp. 415-429, illus., December 1945.
- (4) FORTIER, S., and F. C. SCOBEE. — Permissible Canal Velocities. *American Society of Civil Engineers, Transactions*, Vol. 89, pp. 940-984, 1926.
- (5) GLYPH, LOUIS M., Jr. — Studies of Sediment Yields from Watersheds. International Association of Hydrology, Publication No. 36, General Assembly at Rome, Tome 1, pp. 178-191, illus., 1954.
- (6) MUSGRAVE, G. W. — The Quantitative Evaluation of Factors in Water Erosion — A First Approximation. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 2, No. 3, pp. 133-138, July 1947.
- (7) VANONI, VITO A. — Development of the Mechanics of Sediment Transportation. Proceedings of the Federal Inter-Agency Sedimentation Conference, Denver, Colorado, May 6-8, 1947. Pp. 209-224. Wash., D. C., March 1948.
- (8) United States Federal Inter-Agency River Basin Committee, Subcommittee on Sedimentation. Inventory of Published and Unpublished Sediment-Load Data in the United States and Supplement 1946 to 1950. Subcommittee on Sedimentation, *Sedimentation Bulletin* No. 1, 82 pp., tables, April 1949 and No. 4, 49 pp., tables, April 1952.
- (9) United States Inter-Agency Committee on Water Resources, Subcommittee on Sedimentation. Summary of Reservoir Sedimentation Surveys made in the United States through 1953. *Sedimentation Bulletin* No. 6, 42 pp., tables, April 1957.

# LUFTBILD UND RELIEFVERÄNDERUNGEN INFOLGE BODENEROSION

## AERIAL PHOTOGRAPH AND RELIEF CHANGES CAUSED BY WATER EROSION

H. J. STEINMETZ

Gießen

### ABSTRACT

Evaluation of aerial photographs proves useful in soil conservation work. They give good indications on changes in soil conditions due to water erosion.

There were found three kinds of surface changes characteristic for German landscapes:

1. Changes, which cause horizontal relief elements: terraces formed by deposition of eroded soil material along lines across the slope.

2. Changes due to smooth, large hollows caused by the combined effect of soil erosion and soil tillage (washingboard — «Waschbrett»).

3. Strong deformation of a geologically preformed relief due to soil erosion: dissection of slopes.

By means of aerial photographs it is possible to recognize the determining factors that contribute to the damages caused by soil erosion. Aerial photographs are as well of great value in the field of soil conservation as they permit conclusions as to effective protecting practices to control soil erosion in the future.

The communication is completed by some examples for the illustration of these destructions.

Bei der Bodenerosion durch Wasser führen Verlagerungsvorgänge durch oberflächlich abfließendes Wasser einerseits zu einer Verflachung der Verwitterungsschichten auf Höhen und Hängen, andererseits zu einer Anhäufung von Verwitterungs- und Trümmerprodukten in den Senken und Niederungen. Zugleich mit diesen Umlagerungen gehen Veränderungen der Oberflächenform vor sich. Ihr Ausmaß wird durch die Unterteilung in Schicht- und Grabenerosion gekennzeichnet.

Die Schichterosion tritt vorwiegend auf Höhen und oberen Hängen auf und ist eine Folge des Zusammenspiels der Prallwirkung der Regentropfen und des oberflächlich abfließenden Wassers, dessen Menge und Geschwindigkeit noch nicht zu einer ausgesprochenen Rinnenbildung ausreicht. Hier wirkt sich vor allem die Plantschwirkung der Regentropfen und die dabei entstehende Turbulenz aus, die die Schleppkraft des Wassers wesentlich erhöht. Mit zunehmender Fließgeschwindigkeit und Wassermenge nimmt am mittleren und unteren Hang der Schleppdruck und damit die einschneidende Kraft des Wassers bedeutend zu, und es kommt im Extremfall zur Grabenerosion, deren Erscheinungsbild jedem Beschauer deutlich sichtbar ist, im Gegensatz zu der Schichterosion, die oft nur für ein geübtes Auge oder durch Bodenkartierung festzustellen ist.

Zwischen beiden gibt es zahlreiche Übergangsformen, die aber alle eines gemeinsam haben: die Veränderung des Bodenprofils und damit der Bodenoberfläche. Die Zeit, die für eine sichtbare Umformung benötigt wird, ist verschieden und richtet sich nach den maßgebenden Faktoren, die auch das Erscheinungsbild bestimmen.

Im Einzelfall lassen sich die Wirkungen des Bodenabtrags durch eingehende Untersuchung des Geländes und der Bodenverhältnisse meist gut feststellen. Schwieriger wird dies oft bei der Betrachtung größerer Räume, vor allem wenn diese

unvollständig zu übersehen sind, wie im Mittelgebirge und im Hügelland. Für eine Planung von Bodenerhaltungsmaßnahmen ist eine solche Übersicht unerlässlich, und sie soll zudem mit einem möglichst geringen Zeitaufwand gewonnen werden. Bei umfangreichen Kartierungs- und Planungsarbeiten wurde daher die Möglichkeit der Auswertung von Luftbildern geprüft. Die Ergebnisse werden im folgenden an einer Reihe von Beispielen erörtert, die in Deutschland weit verbreitete Verhältnisse kennzeichnen.

Für die Analyse des Geländes sind Stereobilder besonders brauchbar. Daher werden einige solche Aufnahmen wiedergegeben.

Am bekanntesten sind die für viele Landschaften charakteristischen Terrassenbildungen. Sie sind eine Folge der Bearbeitungsweise und entstehen überall dort, wo an Hängen die Fließgeschwindigkeit von oberflächlich abfließendem Wasser bei Starkregen oder Schneeschmelze gebremst wird, so an Ackergrenzen (Rainen), Strauchrainen, Vorgewenden und Wegen. Bei verminderter Abflußgeschwindigkeit sinkt die Schleppkraft des Wassers, und ein Teil des mitgeführten Bodens wird abgesetzt. Ständige Wiederholung dieses Vorganges an den gleichen Stellen führt im Laufe der Zeit zur Ausbildung von Stufen (Hochrainen), die zu einer Verflachung des Gefälles innerhalb des höher gelegenen Schlages beitragen und damit die Gefährdung durch Bodenerosion herabsetzen (Abb. 1). Diese Form der Oberflächenveränderung ist vorwiegend auf Schichterrosion zurückzuführen, bei der neben der Bodenverlagerung durch Oberflächenwasser die Verlagerung der Bodenteilchen durch Bearbeitungsgeräte eine bedeutende Rolle spielt.

Dieser Veränderung der Bodenoberfläche mit horizontaler Erstreckung stehen Reliefverformungen gegenüber, deren Richtung im Gefälle liegt. Eine sehr verbreitete



Abb. 1 — Hess. Landesvermessungsamt.



Form ist das « Waschbrettrelief ». Diese von KURON geprägte Bezeichnung kennzeichnet eine Hangausformung, die durch das Zusammenwirken von Schichterosion und gemäßigter Grabenerosion bedingt ist. Die Hangoberfläche wird von zahlreichen in Gefällerrichtung laufenden Bodenwellen durchzogen. Diese entstehen in der Weise, daß auf einem mehr oder weniger glatten Hang oberflächlich abfließendes Wasser an einigen Stellen Rinnen und Rillen einschneidet, die beim nächsten Bearbeitungsgang wie Eggen, Walzen oder Schälren weitgehend ausgefüllt und geglättet werden. Bei einem folgenden Abfluß wiederholt sich der Abtrag längs der gleichen Abflußwege, die infolge schwacher Einsenkung in die Hangfläche immer wieder vom Wasser benutzt werden. Dabei vertiefen sich die Rinnen und weiten sich aus. Auch jetzt sind die Veränderungen noch nicht bedeutend und lassen sich durch normale Bestellungs- und Pflegemaßnahmen beseitigen. Im Laufe der Zeit jedoch führt das ständige Wechselspiel zwischen Wegschwemmen einerseits und Zufüllen andererseits zu fortschreitenden Bodenverlusten. Es bilden sich die beschriebenen Dellen aus, die für Bodenart und Bearbeitungsweise charakteristisch sind. Sie geben dem Hang ein waschbrettartiges Aussehen. Die beschriebenen Hangformen geben auch in Grünland oder Wald wichtige Hinweise auf frühere ackerbauliche Nutzung und ihre Wirkung auf den Bodenabtrag.

Diese Geländeumformungen und ihrer Ursachen sind im Luftbild gut erkennbar, das auch weitgehende Rückschlüsse auf den Bodenaufbau erlaubt.

In zahlreichen Untersuchungen stellte sich heraus, daß für Form und Tiefe der einzelnen Dellen neben Klimafaktoren, Geländeform und Bearbeitungsweise Textur, Struktur und Gründigkeit der Verwitterungsdecke eine entscheidende Rolle spielen. Auf abtragsgefährdeten Böden, wie Lösslehm (staubschluffiger Boden), bilden sich unter den klimatischen und landwirtschaftlichen Verhältnissen Deutschlands vorwiegend flache Mulden aus. Der gemäßigten Grabenerosion auf der Muldensohle wirken Bearbeitungsmaßnahmen und die Zufuhr abgeschwemmten Bodens aus kleineren von den Zwischenrücken zur Sohle führenden Rillen, sowie die Prallwirkung der Tropfen entgegen. Beim Nachlassen des Abflusses setzen sich die verlagerten Bodenmassen in den konkaven mittleren Hangteilen ab (Zwischenablagerungszonen). Die Flachheit der Dellen verleitet daher leicht zu dem Schluß, daß die Bodenverluste nur gering seien. Jedoch wird in Wirklichkeit auf der gesamten Hangfläche die oberste Bodenschicht im ganzen abgetragen — das charakteristische Merkmal der Schichterosion. Im Gegensatz zu abtragsgefährdeten Böden sind die Ränder der Dellen auf bindigen Böden im allgemeinen stärker geböscht, da hier die Rinnenerosion in der Muldensohle verhältnismäßig größer ist als die Verlagerung von den Randflächen her, die in erster Linie durch Bearbeitungsmaßnahmen bewirkt wird.

Auch diese Unterschiede sind im Luftbild gut zu erkennen. Sie sind in Verbindung mit der Gesamtsituation gut auswertbar für großmaßstäbliche Bodenkartierungen und Bodenerhaltungsplanungen.

Stereobild 2 zeigt den SE-Hang eines Muschelkalkberges, der noch stellenweise von einem dünnen Lösslehmschleier überzogen ist und ein schwach ausgeprägtes Waschbrettrelief aufweist. Deutlich heben sich die hellen, flachgründigen Zwischenrücken (Brantkuppen) gegen die dunklen Zwischenablagerungszonen der Dellen und Mulden ab. Mit Hilfe dieser Luftbilder läßt sich in kurzer Zeit eine genaue kleinflächige Kartierung des Hanges durchführen und ein Plan zur Bodenerhaltung aufstellen. Interessant sind die z.T. von Büschen bestandenen Hochraine unterhalb des Ackerschlages, die darauf hinweisen, daß der gesamte Hang in früherer Zeit ackerbaulich genutzt wurde. Die Hochraine stellen die alten Feldgrenzen dar.

Wie erwähnt, stellt das Waschbrettrelief eine Übergangsform dar, die bei fortschreitender Erosion zu einer Zerkümmung der Hangoberfläche durch Gräben, im Extremfall durch Schluchten führt und eine Aufgabe der Ackernutzung erzwingen kann. Nicht



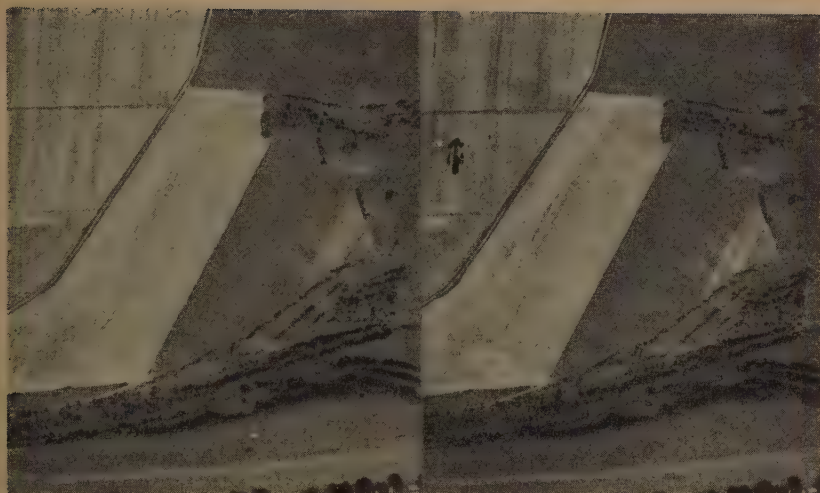


Abb. 2 — Aero-Exploration, Frankfurt/Main.

immer sind diese Gräben und Schluchten allein durch Bodenerosion bedingt. Ihre Entstehung kann auch auf alte Wege oder jetzt versiegte Wasserläufe zurückgehen, während die Bodenerosion ihnen nachträglich ihre heutige Form gab.

Stereobild 3 gibt die Situation eines weiten Kessels wieder, dessen innerer Bau durch zahlreiche Verwerfungen im Untergrund gekennzeichnet ist (Grauwackenschiefer verschiedener Festigkeit). Diese bedingen die Gliederung des Kessels in Rücken bzw. Mulden. Das gesamte Gebiet war einst von einer Lössdecke überzogen die seit Beginn der landwirtschaftlichen Nutzung der Bodenerosion weitgehend zum Opfer fiel und heute nur noch an wenigen Stellen erhalten ist. Die Undurchlässigkeit des Gesteines bedingt den oberflächlichen Abfluß größerer Wassermengen, die sich in den vorgebildeten Mulden (von KURON als Hohlhänge bezeichnet) sammeln und in ihnen mit erhöhter Kraft zu Tal fließen. Die Hohlhänge werden daher ständig vertieft und eingeschnitten; dies um so mehr, als eine geordnete Wasserableitung fehlt, das Tagewasser also über die Schläge strömt. Wie aus dem Bild hervorgeht, suchte man in der Weise Abhilfe zu schaffen, daß man in die Muldensohlen, die schwieriger zu bearbeiten sind, Schlaggrenzen, teils sogar Wege legte, diese jedoch ohne Gräben. Die Folge davon war sogar eine Beschleunigung der Abtragsvorgänge, die einerseits durch den Verlauf von Furchen an den Schlaggrenzen, andererseits durch das Fehlen einer Befestigung der Wege, die selbst als Wasserableiter dienen, gefördert werden.

In Bildmitte ist weiterhin ein Weg zu erkennen, der über einen leichten Rücken abwärts führt. Diese Wegeführung wird häufig angewandt, um den Weg « trocken » zu halten. Sie geht aber von falschen Voraussetzungen aus, da einmal die weniger durch Bodenerosion gefährdeten Ackerlagen von Wegen zerschnitten werden, während die Mulden als Wasserableiter weiterhin durch gesammelt abfließendes Wasser geschädigt werden. Ferner fließt auch auf dem Rückenweg Tagewasser ab und führt zu einer Eintiefung und zur Ausbildung einer Hohlweges. Das gleiche zeigt der kleine Stichweg südlich davon, der an der Flanke eines Rückens liegt und sich ebenfalls einschnitt. Das aus dem Wegende kommende Wasser fließt seitwärts in den Hohlhang und führt hier zu beträchtlicher Rinnenerosion.



Abb. 3 — Aero-Exploration, Frankfurt/Main.

Diese Rinnenerosion auf den Sohlen der Mulden und Hohlhänge ist deutlich im oberen Bild Drittel zu erkennen. In zwei kleineren Mulden sammelt sich das Tageswasser und bricht talwärts durch. Verstärkt wird dieser Vorgang durch die Schlag-einteilung, die gradlinig verläuft und nicht die Geländeform berücksichtigt. Die Kartoffelreihen hängen daher in den Mulden nach unten durch. Dort sammelt sich das abfließende Wasser und bricht mit erhöhter Kraft hangabwärts aus. Zur Zeit der Aufnahme war die Rinnenbildung schon so weit vorgeschritten, daß an eine maschinelle Bearbeitung der Felder kaum mehr gedacht werden konnte.

Um hier Abhilfe zu schaffen, wurde im Rahmen der Flurbereinigung mit Hilfe der Luftbilder ein Plan aufgestellt, der im wesentlichen vorsieht: 1. Verlegung der Wege und Schlaggrenzen in die Hohlhänge und Sicherung durch beraste Seitengräben. 2. Unterteilung der Hänge des Kessels und damit des Einzugsgebietes durch zwei Gürtelwege, die annähernd horizontal verlaufen. In bergseitigen Gräben bzw. Rasenmulden wird das von den Feldern abfließende Wasser aufgenommen und in die Muldensohlen abgeleitet. 3. Schutz der Bodenoberfläche durch einen Wechsel von



Abb. 4 — Aero-Exploration, Frankfurt/Main.

etwa horizontal begrenzten Schlägen mit bodenschützenden und bodengefährdenden Kulturarten bei verstärktem Zwischenfruchtbau. 4. Unterteilung der Felder selbst durch Wasserfangfurchen (Konturfurchen).

Ähnliche Verhältnisse zeigt Stereobild 4. Dieser Osthang eines Höhenrückens besteht aus Buntsandstein, dem noch eine beträchtliche Lösslehmdecke aufgelagert ist. Die Mulden und Hohlhänge sind geologisch vorgebildet und erhielten ihre heutige Form durch die Bodenverlagerungen infolge Bodenerosion. Die große Zahl der Hohlhänge gibt dem Hang ein zerfurchtes Aussehen. Auch hier lagen die Wege vorwiegend auf Hangrücken. Sie schnitten sich mit der Zeit ein und führten zur Bildung weiterer Dellen, die den Verzicht auf ein Vorgewende unmöglich machen. Zugleich ist der Zustand der Wege infolge der ständigen Überströmung sehr schlecht. Die Mulden selbst werden alljährlich von Rinnen zerschnitten, wodurch erhebliche Bodenverluste auftreten. Es besteht die Gefahr, daß bei ungehemmtem Fortschreiten der Bodenerosion die fruchtbare Lösslehmauflage abgetragen wird und der minderwertige Sandstein an die Oberfläche gelangt. Dies ist um so bedeutsamer, als das Land zu Neusiedlerstellen gehört, für die eine Erhaltung des Bodens und der



Ertragsfähigkeit der Felder lebenswichtig ist. Es wurden im Rahmen einer Flurbereinigung Bodenerhaltungsmaßnahmen ausgearbeitet mit dem Ziel, das Oberflächenwasser zu bremsen und die Voraussetzungen für die Versickerung zu verbessern, ferner eine geregelte Ableitung durch ein geordnetes Grabennetz zu schaffen. Da die große Zahl der Hohlhänge ihre Sicherung durch Wege mit Seitengräben allein unmöglich macht, wurden lediglich die Hauptmulden zur Wegeanlage herangezogen. Die kleineren Mulden wurden durch Gürtelwege in der Horizontalen unterteilt und teilweise durch zusätzliche Rasenstreifen bei horizontaler Feldgliederung gesichert. Auf diese Weise ist es möglich, zu einer Verflachung der Mulden beizutragen, da ein großer Teil des vom Tagewasser mitgeführten Bodens von der Rasendecke der Raine ausgekämmt wird und eine Aufhöhung bewirkt.

Entsprechend dem Umfang der Aufgaben, die auch in Deutschland der Bodenerhaltung, vor allem im Rahmen der Flurbereinigung, gestellt sind, kommt einer Beschleunigung dieser Arbeiten besondere Bedeutung zu. Wie die besprochenen Beispiele zeigen, ist das Luftbild hierbei ein sehr wertvolles Hilfsmittel.



# ÜBER DIE ERODIERBARKEIT EINIGER BODEN

## THE ERODIBILITY OF SOME SOILS

VON H. KURON UND L. JUNG

Gießen

### SUMMARY

The amount of damages caused by water erosion is not only determined by relief and climate, but also by soil properties. The erodibility of a bare soil depends for a great deal on its composition, both texture and structure. The latter is influenced by quantity and quality of organic matter and by the content and type of clay minerals.

By physical determinations in the laboratory and field experiments under natural conditions the erodibility of soils was estimated. It results that soil deterioration was highest on sandy soils with a high content of silt; loess loams and shale soils with small rock particles followed them. The trend to destruction of soil structure was shown by the texture of soil material transported by runoff. Further information was got by the «soil structure factor» (Vageler, Alten).

The largest amounts of soil material were transported by rain water from slopes with loess loam soil. On the other hand, for sandy soils with high silt content the losses of topsoil are not so great, but the movement of soil material with runoff started earlier after the beginning of a rain and at lower rain intensities.

The «erodibility» is defined by the ratio B/St, where B means «mobility» and St «stability.» The investigated soils may be arranged as follows: sandy soil with high silt content > loess loam soil > stony slate soil.

Das Ausmaß der Erosionsvorgänge hängt einmal von den klimatischen Gegebenheiten, der Geländeform und der Lage der Ackergrenzen in gebirgigen oder hügeligen Landschaften ab («äußere Faktoren»), zum anderen von der Zusammensetzung und dem Aufbau des Bodens («innere Faktoren»). Die inneren Faktoren bestimmen seine «Erodierbarkeit».

Die Beurteilung der «Erodierbarkeit» von drei verschiedenen Böden konnte auf Grund der Ergebnisse von Abfluß- und Abtragsmessungen auf diesen Böden erfolgen, die bereits seit drei bis sechs Jahren durchgeführt werden. Die Versuchspartzen haben eine Länge von 8 m bei 2 m Breite und besitzen durchweg etwa das gleiche Gefälle von 9 — 11 %.

Nach der Kornzusammensetzung handelt es sich um

- I. einen tonigen lehmigen Schluff (*Lösslehm*),
- II. einen steinhaltigen *Schlufflehm* (Tonschieferverwitterung) und
- III. einen *sandigen Schlufflehm* (Buntsandsteinverwitterung), wobei unter Schluff die Fraktion 0,002 — 0,06 mm  $\varnothing$  verstanden ist. Die Ergebnisse der mechanischen Analyse des Feinbodens mit Natriumphyosphat als Dispersierungsmittel sind in Tabelle 1 dargestellt.

TABELLE 1

Kornzusammensetzung in % des Feinbodens

Bezeichnung	Ton < 0,002 mm	Schluff 0,002 — 0,06 mm	Feinsand 0,06 — 0,2 mm	Grobsand 0,2 — 2,0 mm
Boden I	24,9	62,9	11,5	0,7
Boden II	25,3	54,1	6,2	14,4
Boden III	6,9	45,9	25,7	21,5

Boden II hat einen mittleren Steingehalt in Form von kleinen plattigen Schieferbruchstücken (0,5 — 3,0 cm ø). In diesem Boden beträgt der Humusgehalt 6 %, während die Böden I und III 2,5 bzw. 3,0 % Humus enthalten.

Über die Ergebnisse der Abfluß- und Abtragsmessungen wurde bereits an anderer Stelle berichtet (<sup>1</sup>). Aus ihnen ist zu entnehmen, daß ein meßbarer Abtrag bei den Böden I und III schon bei einer Regenintensität von 0,02 mm/min auftritt. Er ist je nach Regenmenge und Feuchtigkeit des Bodens vor Eintritt des Niederschlags mehr oder weniger groß. Dagegen konnte bei Boden II ein Abtrag erst bei Intensitäten über 0,05 mm/min festgestellt werden. Vergleicht man die geringsten Werte, die einen Abtrag von über 100 kg/ha auslösen, so ergibt sich folgendes (Tabelle 2).

TABELLE 2

Bezeichnung	Regenmenge mm	Intensität mm/min	Abfluß %	Abtrag kg/ha
Boden I	11,0	0,02	8,5	330
Boden II	44,0	0,05	3,3	130
Boden III	4,1	0,04	18,3	138

Bei Boden II muß demnach neben größerer Intensität auch eine größere Regenmenge gegeben sein, um eine Boderverlagerung auszulösen.

Vor allem ist bemerkenswert, daß auf Boden III sehr häufig geringer Abtrag und Bodenverlagerungen festzustellen sind, die durch kleine Regenintensitäten unter 0,1 mm/min ausgelöst werden. Die Zahl der Abläufe bei Regenintensitäten unter 0,1 mm/min ist bei Boden I nicht so hoch, dafür ist aber die Abtragsmenge in jedem Falle höher als bei Boden III.

Zerlegt man nach ELLISON (<sup>2</sup>) die «Erodierbarkeit» in die Komponenten «Zerschlämmbarkeit» und «Transportierbarkeit», so ergibt sich auf Grund der Meßergebnisse für die Zerschlämmbarkeit folgende Reihe: Boden II (Schieferverwitterung) < Boden I (Lösslehm) < Boden III (Buntsandsteinverwitterung). Der größte Abtrag wurde auf Boden I gemessen, so daß für die Transportierbarkeit folgende Reihe gilt: Boden II < Boden III < Boden I.

Wie aus den Meßergebnissen schon hervorgeht, kann die «Erodierbarkeit» nicht allein aus der Kornzusammensetzung des Feinbodens bestimmt werden, worauf KURON (<sup>3</sup>) bereits hingewiesen hat. Legt man z.B. das sogenannte Tonverhältnis nach BOUYOUCOS (<sup>4</sup>) zugrunde ( $\frac{\text{Sand} + \text{Schluff}}{\text{Ton}}$ ), so ergeben sich folgende Quotienten:

$$\text{Boden I} = 3,00$$

$$\text{Boden II} = 2,95$$

$$\text{Boden III} = 13,50$$

Nach BOUYOUCOS sind die Zahlen für leicht erodierbare Böden hoch und für schwer angreifbare niedrig. Somit fielen der Boden I mit den höchsten Abtragsmengen unter die schwer erodierbaren Böden, was den tatsächlichen Beobachtungen nicht entspricht.

Entscheidend ist außer der Kornzusammensetzung vor allem die Struktur eines Bodens bzw. ihre Stabilität gegenüber der Zerschlämmung. Dadurch wird einmal die Einsickerung der Niederschlagswässer und weiter die Neigung der Bodenteilchen zur Abwanderung mit dem Oberflächenwasser bestimmt.

Untersuchungen über Lössböden (<sup>5</sup>, <sup>6</sup>) haben gezeigt, daß besonders die Schlufffraktion (0,002 — 0,06 mm  $\phi$ ) sehr zur Zerschlämmung neigt und zugleich leicht «beweglich» ist. Ihr fehlt das Haftvermögen, das dem Kolloidanteil des Bodens eigen ist. Setzt sich ein Boden vorwiegend aus Schluff und Feinsand zusammen, so muß der Tongehalt relativ hoch sein, um eine gute Bindigkeit des Gesamtbodens herbeizuführen. Ist der Tongehalt relativ niedrig, so zerfließt der Boden bei stärkeren Niederschlägen und wandert in seiner Gesamtheit mit dem Oberflächenwasser ab. Da humusarme Löss- und Lösslehm Böden weitgehend diese Eigenschaften haben, ist es verständlich, daß sie in hohem Maße dem Abtrag unterliegen. Schlämmanalysen des abgeschwemmten Bodenmaterials ergaben, daß dieses stets die gleiche Kornzusammensetzung hatte wie der Ausgangsboden (<sup>1</sup>).

Auch ein Boden mit hohem Sandanteil und geringem Tongehalt wird eine geringe Stabilität besitzen, besonders wenn zugleich beträchtliche Anteile von Schluff und Feinsand vorliegen. Die Möglichkeit einer Verkittung der Bodenteilchen ist gering, so daß die leicht beweglichen «abschlammbaren Teile» schnell aus dem Verband herausgespült werden. Dies gilt für Boden III. Andererseits ist die Beweglichkeit der groben Bestandteile gering. Sie bleiben nach der Zerwaschung der Aggregate liegen oder wandern nur kurze Strecken. So erklären sich die geringeren Abtragswerte für Boden III. Die Kornzusammensetzung des abgeschwemmten Bodens weicht dementsprechend auch stark von der des Ausgangsbodens ab. Der Anteil der feineren Fraktionen ist im abgeschwemmten Boden höher, während mit steigender Regenintensität der Anteil der groberen Fraktionen zunimmt.

Der Boden II hat von den drei Böden den kleinsten Gehalt an Schluff und Feinsand und eine starke Beimengung von Kies und Steinen (über 2 mm). Er hat also eine nur mäßige Beweglichkeit. Andererseits ist sein Humusgehalt mit 6 % recht hoch. Dies bewirkt einen besseren Zusammenhalt der Aggregate und eine größere Wasseraufnahmefähigkeit als bei den Böden I und III. Der Boden hat somit eine größere Stabilität. Eine Bedeckung der Bodenoberfläche mit Steinen wirkt schützend, indem die Schlagkraft der Regentropfen abgefangen wird. Dies erhöht ebenfalls die Stabilität von Boden II.

Die Unterschiede in der Stabilität der Böden kommen einigermaßen in dem «Strukturfaktor» nach VAGELER und ALTEN (?) zum Ausdruck (Tabelle 3).

TABELLE 3

Bezeichnung	Strukturfaktor
Boden I	95
Boden II	60
Boden III	89

Ein wesentlicher Faktor ist das Einsickerungsvermögen des Bodens bzw. des Unterbodens und der Übergangszone zwischen Ober- und Unterboden. Boden I ist ein erodierter Lösslehm, dessen Krume oder Bearbeitungszone bereits in den verlehnten B-Horizont reicht. Letzterer ist dicht gelagert und infolgedessen wenig durchlässig. Der Unterboden des Tonschieferverwitterungsbodens ist dagegen stark mit Steinen durchsetzt, die eine gewisse Durchlässigkeit gewährleisten. Auch im Boden III ist der Unterboden stark verlehmt. Das Einsickerungsvermögen kann ferner während eines Regens durch die Verstopfung der Bodenporen mit abgetrennten

Ton- und Schluffteilchen erheblich abnehmen. WALTER <sup>(8)</sup> konnte dies in Modellversuchen zeigen.

Auf Grund der vorliegenden Beobachtungen und Messungen wurde es nun versucht, die Erodierbarkeit E der untersuchten Böden durch den Quotienten B/St zu definieren, wobei B die Beweglichkeit und St die Stabilität bedeutet. Bei der Beurteilung der Werte B und St ist nach unseren Erfahrungen folgendes maßgeblich: für B : Kornzusammensetzung des Feinbodens, sowie Kies- und Steingehalt; für St : Struktur (Ton- und Humusgehalt) und Einsickerungsvermögen, ferner Schutzwirkung von groben Bestandteilen (Kies, Steine) auf der Bodenoberfläche.

Auf Grund unserer Beobachtungen ergab es sich als zweckmäßig, den Wert B durch den Gehalt des Gesamtbodens an den Fraktionen Ton (0,002 mm) und Staubschluff (0,002 — 0,06 mm) zu kennzeichnen.

Zur Kennzeichnung der Stabilität St diene der Prozentgehalt des Bodens an wasserstabilen Aggregaten. Dieser Wert wurde durch Naßsiebung bei Anfeuchtung durch Eintauchen ermittelt. Die Durchführung dieser Naßsiebung ist von H. SCHREIBER <sup>(9)</sup> näher beschrieben.

Die so ermittelten Zahlen sind in Tabelle 4 zusammengestellt. In der gleichen Spalte sind die aus ihnen abgeleiteten E-Werte angegeben.

TABELLE 4

Bezeichnung	Beweglichkeit B	Stabilität St	Erodierbarkeit E
Boden I Lösslehm)	88	7,5	12
Boden II (Steiniger Schlufflehm)	60	53,0	1
Boden III (Sandiger Schlufflehm)	53	11,0	5

Diese Kennwerte entsprechen gut den Meßergebnissen auf den Versuchsflächen. Es wird zu prüfen sein, inwieweit die Beurteilung der Erodierbarkeit auf dieser Grundlage sich bei anderen Böden bewährt.

#### SCHRIFTTUM

- (1) KURON, H., JUNG, L., SCHREIBER, H. : Messungen von oberflächlichem Abfluß und Bodenabtrag auf verschiedenen Böden Deutschlands. *Schriftenreihe des Kuratoriums f. Kulturbauwesen*, H. 5 (1956).
- (2) ELLISON, W. D. : Soil erosion studies — Part. I Approach to the problem. *Agricultural Engineering*, April 1947.
- (3) KURON, H. : Die Bodenerosion und ihre Bekämpfung in Deutschland. *Der Kulturtechniker* (1941) 79.
- (4) BOUYOUCOS, G. J. : The clay ratio as a criterium of susceptibility of soils to erosion. *Journ. Americ. Soc. Agron.* 27 (1935) 738.
- (5) EHRENBURG, P. : Wirkung der Bodenerosion auf deutschem Ackerlande. I. Die Bodenerosion auf Löss. *Der Kulturtechniker*, H. 5/6 (1940).



- (6) KURON, H. : Löss und Bodenerosion. *Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde* 50 (1950) 74.
- (7) VAGELER, P. und ALTEN, F. : Böden des Nil und Gash II. *Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde* 21 (1931) 323.
- (8) WALTER, G. : Untersuchungen über die Einsickerung bei Ackerböden im Hinblick auf die Bodenerosion. Diss. Gießen 1956.
- (9) SCHREIBER, H. : Untersuchungen über den Einfluß von synthetischen Bodenverbesserern auf verschiedene physikalische Bodeneigenschaften. *Ztschr. f. Acker- und Pflanzenbau* 101, H. 4 (1956) 361.

# ROLE OF FAULT ON SUSCEPTIVITY OF MOUNTAIN-SIDE TO EROSION

T. ONODERA

*Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Japan*

## ABSTRACT

On the upper region along the Monobe River in Shikoku, Japan, where the geology distinctly governs the topography, the number of rock-slipping spots was counted after a long rain, they were classified according to the geological formation which contains them and to the distance from fault in terms of adjacent to or apart from it to see the effects of fault on the aspect of their distribution and it was found that the number of rock slipping spots per sq. Km of the area in the region along the Monobe depends upon the character of each formation, and that number is increased by two systems of post cretaceous faults and moreover the increasing aspect also depends as well upon the system of fault as upon the geological character of each formation.

Introductory Note — Every kind of land erosion has intimate relation to the regional climate, forestry, topography and geology. Among these, geology is a latent and substantial element to undergo land erosion; and its effect is disclosed when it overcomes other elements or when the biogenetical mantles are taken off.

The southeastern part of Shikoku, an island of Japan, is a region in which the geological structure governs the topography and several heavy earthquakes had happened since the days of old. As it is expected that the geological element displays predominant influence upon land erosion in this district, the district was taken up to find out the relationship between colupsibility of mountaneous land and geology. The distribution of rock slipping spot on Mountain-sides was studied in connection with geology along the Monobe River after a long rain which had continued from July 13th-22nd, 1937 (735.2 mm at Kochi), rather uniformly all over the district after a heavy earthquake (M8.1) in Dec. 1946.

In this paper the relations of the distribution of rock slips to the geological formations and to the faults are stated. Laying aside the question on the scale and materials of rock-slips, only their numbers were taken up here, and the spots taken up were restricted to what had been caused by the rain.

## 1. Topography

This area is a mountainous zone along the Monobe River at the eastern end of Kochi Prefecture as be seen in the map.

The Monobe River rises in the north-eastern mountains in the Prefecture and takes its nearly linear course with minor bendings down to Odochi, where the Kaminiro, a chief tributary, joins with the main Monobe River. After the river course is bended in two points near the junction, it takes again a linear course west-south-westwards with slight meandering down to Sugita. Near Sugita the river changes its course abruptly southwards and herefrom it flows out of the mountaneous land into the flood plain, and then it runs through the eastern part of the plain, to empty into the Pacific Ocean.

The river can be divided into the upper, the middle and the lower parts from its character, each corresponding to that; the upper stream part for about 25 km from the junction of the Monobe and the Kaminiro, the part for about 15 km between

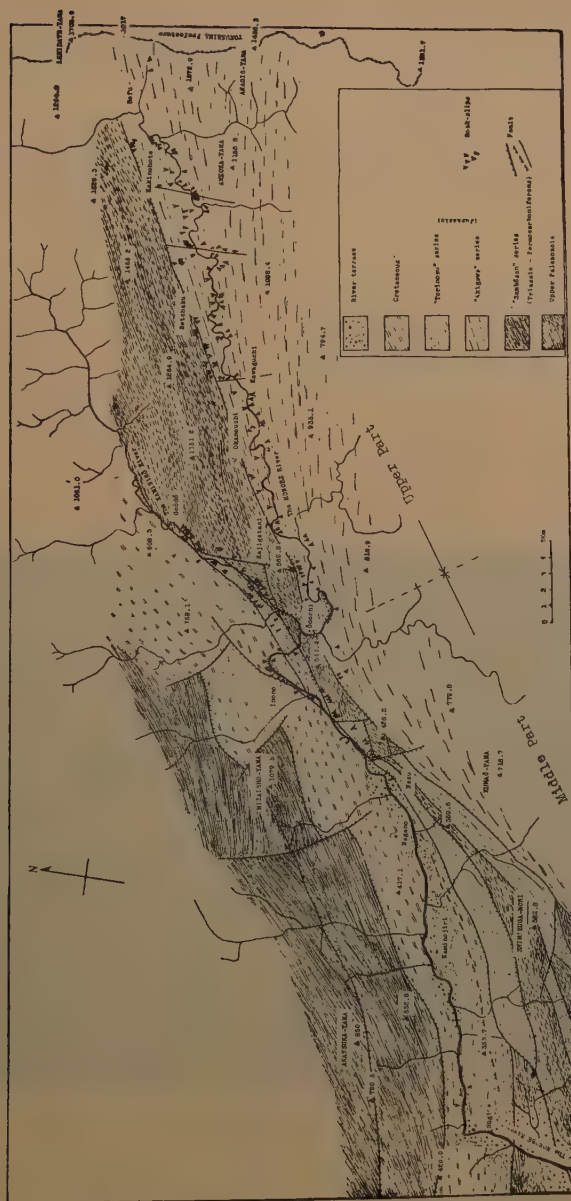


Fig. 1

Map showing the distribution of rock-slips in the region along the Monobe River in July 1947.  
 (The main part of this map is followed after the geological map of Kōchi 1:75,000 by Mr. Tatsuo Suzuki, published by the Imperial Geological Survey of Japan in 1931).



Fig. 2



Fig. 3

the junction to the bending portion near Sugita, and the lower part for about 13 km from the bending portion.

While several river-terraces develop along the river between Odochi and Sugita, at the upper stream-wards there is scarcely a terrace or gravelbar in the main river or tributaries.

On both sides along the upper and middle parts of the rivers mountain ranges are arranged parallel to their courses. The arrangement is conformable to the general



geotectonic trend of Shikoku. In this region constituent mountains of these ranges are higher at the eastern part and lower at the western part. The highest one of these is the Ishidate-Yama situated on the waterdividing ridge of the Monobe and the Nake Rivers.

The average inclinations of slopes of the Mountain-sides towards the river are shown in Table-1, in which the inclination is the ratio of vertical height above the river bed to the horizontal distance from the summit to the nearest point of the river measured on several triangulation stations on the map.

TABLE 1

*The average inclination of the mountain-sides towards the river*

	Mm	K	Um
Ns	1:3.1	1:3.8	1:2.2
Sn	1:2.8	1:2.7	1:2.4

Ns: The average inclination of south-side slopes of the mountains situated on the north of the river.

Sn: The average inclination of the north-side slopes of the mountains situated on the south of the river.

Mm: Mountains situated on the sides of the middle part of the Mobobe.

K: Mountains situated on the sides of the Kaminiro.

Um: Mountains situated on the sides of the upper part of the Monobe.

The inclination is steepest at  $Ns \times Um$  vix. At the south-side slope of the wedge-shaped land mass between the Monobe and the Kaminiro, it is next steep at  $Sn \times Um$ , least steep at  $Ns \times Mm$ , and elsewhere it is rather of similar degree. Generally the difference of inclinations by the sides of the river is not recognized, and those of K and Mm are also practically similar except  $Ns \times Mm$ . The inclinations of slopes of the mountains situated on the sides of the upper part of the Monobe are naturally greater than those on the middle part, owing to the less advanced dissection.

As long as this more narrow area is concerned, the difference of the inclination of slopes can be treated neglecting the meteorological factor, and it can be said that the difference of the inclination is resulted from the difference of geology.

## 2. Geology

This area is made up of sedimentary rocks belonging to the palaeozoic and mesozoic groups, and from the diluvial river terraces as shown in the map. The «Upper palaeozoic» and main part of the «Sambosan series» belong to the paleozoic group, and the «Akigawa», «Torinosu», «Cretaceous» and a part of the «Sambosan» series belong to the mesozoic group.

1) Upper palaeozoic formation develops in the north-west part of the area and is made up of the alternations of sandstone and clayslate intercalating hornstone, limestone and schalstein. It is folded in the axes running ENE-WSW, and it comes in contact with the cretaceous series mainly with faults and partly with unconformity.

2) Sambosan series is a part of the upper palaeozoic formation including Triassic strata composed chiefly of sandstone and shale with schert, limestone and schalstein. The constituents of this series are quite similar to the upper palaeozoic formation. The formation has the general strike of E — W dipping  $40^{\circ}$  —  $80^{\circ}$ N, and is in contact with other formations by faults.

The sandstone is generally massive and sometimes is alternated with shale to have platy structure. The shale is also generally massive but is often platy jointed, the thickness of each bed of alternations is less than ten meters.

3) Akigawa series develops widely in the south-eastern part of the area. Akigawa series in the area is the upper shale-sandstone beds among the series in this district. It consists mainly of shale intercalating the alternation of shale and sandstone, and chert in some parts. The shale is massive or each bed of alternations is less than ten meters.

The series has strike NE — SW dipping NW or SE, folded in the axes of NE — SW. The boundaries of the series to the adjacent ones are faults.

4) Torinosu series is distributed in the mid-part of the area, and is composed of sandstone and shale intercalating some lenses of limestone chert and conglomerate. It has general strike NE — SW, and is irregularly folded and bordered to other series by faults. The sandstone is alternated with shale, and the thickness of each of them is less than ten meters.

The shale has platy structure, and is easily broken up into small angular fragments.

5) Cretaceous system consists of sandstone, conglomerate and shale, the lower part being made up of alternation of sandstone and conglomerate associated with shale, and the upper part is composed of shale with sandstone. The upper part is extended in the inner part along the river and the lower part is distributed on its outer zones. This system has general strike NE — SW with small foldings of which axes are also NE — SW. In general the sandstone and conglomerate in the lower part of this system, are massive and compact, while the constituent shale of the upper part is often shattered into platy and angular fragments. Cretaceous system lies on the upper palaeozoic in some parts unconformably but it is bordered by faults in most parts.

6) Diluvial deposits in the region are made up of less consolidated beds of sands, gravels and clays. They form river terraces down-stream from Odochi.

All the above geological members have, except diluvium, general structure elongated NE — SW each being bordered by the long faults of the same trend, and by the several transverse faults. Along these faults the adjacent strata are shattered to tend to cause rock-slips and the degree of shattering is varied by the properties of strata.

Faults of both trend are nearly of the same post-cretaceous period. It is utterly uncertain that these faults are active or not at present.

Table 2 shows the area occupied by each geological division in the zonal area 1 km wide along the rivers and the elongation of faults in them. In the table figures in ( ) shows the elongation of faults which borders the division of formation, and in the column they are duplicated in the divisions on both sides of the faults.

TABLE 2

*The area of each geological division and the length of fault contained*

geological division	area (km <sup>2</sup> )	length of fault (km)		total
		NE — SW	N — S	
diluvium	7.3	—	—	—
cretaceous system	20.4	17.2	3.0	20.2
Torinosu series	4.3	23.8	2.5	26.3
Akigawa series	33.4	14.8	5.2	30.0
Sambozan series	10.8	33.3	2.0	35.3
Upper palaeozoic formation	1.8	3.5	0.0	3.5
total	78.0	(—39.8) 52.8	(—2.5) 10.2	(—112.3) 101.8

While 49 per cent of the total 202 slipping spots is distributed adjacent to the faults with NE — SW trend, and 15 per cent adjacent to those with N-S trend, summing up 64 per cent, 36 per cent of them distribute apart from faults.

TABLE 3

*Number of rock-slipping spot: ( ) indicates the number per 1 km*

geological division	numbers apart from fault	numbers adjacent to fault		total numbers
		NE — SW	N — S	
diluvium	— ( — )	—	—	—
cretaceous system	3 (0.1)	19	—	22
Torinosu series	4 (0.9)	25	3	32
Akigawa series	65 (1.9)	28	22	115
Sambozan series	2 (0.2)	27	4	33
upper palaeozoic formation	— (—)	—	—	—
total (mean)	74 (0.9)	99	29	202 (2.6)

From Table 3 the susceptibility of each geological division to rock-slipping and the role of faults on the susceptibility can be recognized. Firstly *number of rock-slipping per 1 km<sup>2</sup>* in the first column of Table 3 indicates the geological tendency towards rock-slipping (i.e. susceptibility to erosion due to geological characteristics) of each formation under the same regional conditions. And as the effect of faults on the susceptibility of the bed to rock-slipping may be regarded to be very narrow,

then the beds of Akigawa series are most apt to cause the rock-slip, and Torinosu series, Sambozan-series and Cretaceous formation follow it in the order.

Secondary, *number of rock-slipping spot including those adjacent to the fault* depends upon each formation and each trend of fault, according to that each trend of fault has different influence on susceptibility of formation. The susceptibility as a whole is greatest in the Torinosu-series, and Akigawa, Sambozan series and the cretaceous system follow in the order.

In the field the rock slips in Akigawa series happened *as well* in sandy beds as in shaly ones. In Torinosu series they occurred *mainly* in shaly part; and in the Cretaceous formation they occurred *exclusively* in shale beds. The upper palaeozoic formation has no rock-slip in the area and as the diluvium forms flat land it also has no slipping.

There seems to be no difference in their distribution between the north-faced and the south faced alopes as shown in the Akigawa series, in which 30 among the 65 spots are on the south-faced slopes at the northern side of the river and the rest 35 are on the north-faced slopes at the southern side of the river. The dip of the beds in Akigawa series is not uniform and the weathering action seems to be not so different by the both sides.

There seems also no relation between the distribution of rock-slips and the inclination of mountain-slopes, as recognized by comparing Table 3 to Table 1.

Thirdly, *numbers of slipping spot in each geological division adjacent to faults* are given in the middle columns of Table 3. Table 4 shows number of slips along the fault per 1 km of it. (Number of slips per unit area of formation instead of unit length along the fault should be discussed, but as it was impossible to discriminate the uninfluenced area between the range affected by fault, the number of rock-slipping spot along the fault was taken up here.)

TABLE 4

*Number of rock-slipping spot adjacent to fault: per 1 km of fault*

geological division	along the fault with trend of		mean
	NE — SW	N — S	
diluvium	—	—	—
cretaceous system	1.1	0.0	0.9
Torinosu series	1.1	1.2	1.1
Akigawa series	1.9	4.2	2.5
Sambozan series	0.8	2.0	0.9
upper palaeozoic formation	—	—	—
mean	1.9	2.9	2.0

These values indicate the degree of influence of fault upon the slipping properties of each geological division, or the influence which the formation has undergone by the fault, and the degree of influence depends upon the fault and the geological division. As for the fault, those with N-S trend have more influence upon the formation than those with NE — SW trend, and as for formation Akigawa series have been most affected by fault of either direction compared to other formations.



## CONCLUSION

As described above, though the number of rock-slipping spot is not statistically enough, it can be concluded on the region that:

1. Susceptivity of mountain-side to rock-slipping depends upon the geological division and the susceptibility on the region apart from fault is greatest in the Akigawa series.

2. The susceptibility of each geological division is increased by the existence of fault and the increasing aspect also depends upon the system of fault and to the kind of geological division; the influence of fault upon the geological division and the susceptibility is greatest on the Akigawa series; and the susceptibility of formation as a whole (expressed by the number of rock-slips per 1 km<sup>2</sup>) influenced by fault is greatest in the Torinosu series.

3. Regarding the influence of fault to be very narrow, the susceptibility of the mountain-side in the region can be said to be 2.8 times of the case instead. (Comparing the total numbers in the first and the last columns of Table 3.)

Generalizing the above description it may be said that the susceptibility of mountain-side to erosion depends upon the kind of geology and that the susceptibility is increased by fault and the increasing aspect also depends upon each geological division and each system of fault. It is expected that the same condition may prevail on the folded region over the world.

# SOIL EROSION AND FORMATION OF HAUGH-LOAM IN GERMANY

DR. HORST MENSCHING  
Würzburg, Geographisches Institut

## SUMMARY

Most of the recent valley floors in Germany are covered by yellow-brown deposits one to three metres in thickness. A granulation analysis of river deposits in regions with loam and loess-loam layers shows that the haugh-loams are produced by soil-erosion. The formation of the haugh-loam is studied to explain its spread, its genesis and the factors of sedimentation. The haugh-loam strata are caused by complex geographical factors, which have been strengthened by the conversion of the woods into arable. The formation is human-conditioned. The conversion of the natural to the cultural landscape was decisive for its development. One of the effects was, that water run off more quickly and floods became larger. Only a part of the eroded loams and sands is able to deposit in the valley floors. There is a close connection between soil-erosion and formation of haugh-loam. That action is highly important for the cultural landscape, in the region of erosion as well as in that of deposition. It is stressed that the deposition of haugh-loam cannot be the natural terminal in the development of valleys since the last ice age.

You can date the haugh-loam only by combining methods and results of geomorphology, sedimentology, prehistory, historical-geography and history of vegetation. Some examples are given. Investigations showed: during the period of forest growth in the atlantic phase there took place a filling in of dead river beds by natural action. The following deposition of a layer of haugh-loam started with the intense clearing of the woods. This action began not in every region at the same time. The forming of Central German haugh-loam is considered to begin during the sub-atlantic phase (Grahmann), that of the Weser region haugh-loam during the early phase of middle-ages (Natermann, Mensching). At any rate, the first intense formation of haugh-loam occurred during the «clearing of the woods» phase, due to the expansion of arable and the increase of erosion by ploughing.

Some authors don't believe that the thick haugh-loam stratum was formed within a relatively short period since the early middle-ages; but the amount of soil-erosion has been clearly demonstrated at «Waldrandstufen», «Tilken», sunken roads, lynchets and others.

During the meeting of the international association for Hydrology 1954 in Rome a commission was constituted for the study of problems which have a close connection with this paper (Mitt. Nr. 77, Bundesanstalt für Gewässerkunde, 1956). The course of surface erosion as well as the quantitative measurement of the soil carried away transported and deposited are all problems connected with the subject of haugh-loam forming (alluvial deposition in flood plains).

Man's decisive influence upon surface soil erosion and the deposition of the eroded material in the valleys can clearly be demonstrated by studies of haugh-loam formation.

DEFINITION: Haugh-loam is the stratified alluvial sediment deposited during the postglacial period on the flood plain of a river. (\*) The grain size in these young river sediments differs according to their petrographical texture. Both clayey and sandy materials occur, usually without any distinctive limit between them. The composition of haugh-loam depends upon the region of origin of the material and the laws and factors of sedimentation (mainly the river's power to transport, the distance the material is transported and the cross-section of valley during flood). The average

(\*) The term is only used in the Southern Uplands of Scotland, see *Sölch* 1951 p. 525.

spectrum of the grain size distribution (of haugh-loam) shows that more than 90% of the material is under 0.2 mm; yet many such deposits contain coarser sediments, if these preponderate the alluvial deposit is called a «haugh-sand».

#### SOURCE AND NATURE OF HAUGH-LOAMS

Important conclusions concerning the region of origin can be drawn from an analysis of the different grain size distribution within a haugh-loam. The most important regions of origin are those covered by loess. Investigations in North-Western Germany show that those rivers which are able to deposit an important stratum of haugh-loam have their sources in regions of loess-covered slopes. It has been stated that large rivers, such as the Weser, were able to deposit a haugh-loam stratum up to their mouths; whereas others having their sources north of the loess belt have deposited only haugh-sand. In the latter regions there are also haugh-loams with a loamy-clayey texture derived from the bed rock but they are limited to small areas. On the other hand the Central European regions, covered by loess deposits, possess the largest haugh-loam layers. Analysis of grain size of haugh-loams in the Leine valley (Göttingen) have shown, that within the loess regions the predominant part of haugh-loam consists of loess. The portion of the fraction 10-50 $\mu$  climbed up to 78% indicating a large loess component. This close connection between the haugh-loam and the erosion of loess covered slopes has been recognized by other authors (HEMPEL, 1956). The Weser haugh-loam at the Porta-Westfalica showed only 24% of that fraction, whereas the coarser compounds were represented by a higher proportion than in the loams of the Leine river plain. The cause is obvious: the Weser takes a long course across a Bunter sandstone outcrop and transports and deposits by that and its higher transport power larger quantities of coarse materials. The analysis of haugh-loam makes possible conclusions relative to the region of the materials origin. More hints are obtainable from the colour of the haugh-loam.

Long profiles of valley floors show that the haugh-loam thickens towards their mouths. In the upper course the deposition of the haugh-loam ceases after a critical gradient is passed; this amounts on the river Oker to 0.1% (REICHEL, 1953). There are no haugh-loam layers in the mountains, due to the high velocity of the floods. In the mountains even on the recent valleys plains coarse sands and gravels are deposited. In the «critical range» according to the strength of the flood sands or loams are deposited so that the young valley plain sediments show a manifold variety of types.

A characteristic feature of haugh-loam stratigraphy is, that finegrained material, up to the finest clay is found at the base. Frequently this is due to the filling up of the dead arm of a river. But even there a gradual transition to the haugh-loam stratum can always be found; mostly combined with a clearly marked change of colour.

Processes of reduction and oxidation are important in determining colour, as LAATSCH has pointed out (1944). On the other hand the extensive layers of haugh-loam, today covering the valley plains, usually have a yellow-brown colour. Investigations in recent years have shown (HEMPEL, 1956. HÖVERMANN, 1953), that at the base of the haugh-loams occur layers of loam with different fabrics and colours. These have been explained as removed loess or partly even as primary loess, which was supposed to have been deposited during a late phase in the last ice age (HÖVERMANN, 1953). Relative to our consideration, we can neglect these basal sediments as being unimportant with regard to soil erosion and the formation of haugh-loam, although they are important for dating.

The haugh-loam of Lower-Saxony often consists of two parts, not definitely

genetically or chronologically classified. But certainly the older as well as the younger haugh-loams come from the slopes of the river's source region as products of man induced soil-erosion. The thickness of haugh-loam layers in the German river valleys varies from a few cms to several metres. Loam deposits of 5 — 6 metres can be found; the average is 1 — 2 metres. A common observation is the growing thickness with increasing distance from the upper course. The full interpretation of the haugh-loam (thickness formation, dating) of the lower courses of the North-German rivers Ems, Weser and Elbe must deal with recent tectonic events such as the depression of the coastal regions; but these are neglected in this paper.

Sometimes a convexity of the valley plain is observed resulting from the slope of the haugh-loam stratum from a wall-like river bank up to the borders of the valley. But mostly the constant river shifting during the last thousand years has effaced the feature and formed a nearly horizontal plain. Nevertheless in the valley plain a number of flood or dead water channels not yet completely filled up can be seen.

It is certainly known that the haugh-loam layers which are important in the study of the history of rivers and also of the cultural landscape, originate in the soil erosion of loam-covered slopes, highly accentuated by man's action. The relationships between the two are worth-while discussing. After every heavy rain, as after long rainy periods, much material resulting from soil erosion is transported by brooks and rivers. Analysis showed that up to 500 grams of suspended load are transported in 1 cubic metre of river water. After a heavy rain in May 1950 the author found that the suspended load of the upper Leine and its tributary brooks was 330 g/cbm (Garte) and 252 g/cbm (Leine). Not only is erosion and transport of deposits nessecary but the run off rains must be so heavy that the river floods its banks. Over the wide plain the floating materials are brought to a halt as a result of the diminished power of transportation, and by frictional effects of grasses in the meadows and pastures. Nevertheless the larger part of the most fertile soil is carried off as mud into the sea; the quantities of mud annually transported by rivers into the ocean are reported to amount up to 1 — 4,5 Mill. cbm; the Donau is reported to carry off even 27 Millions.

In this cycle of erosion, transport and sedimentation the valley plains offer the only significant chance of collecting a small portion of these valuable products of erosion. For this reason I think it better not to stop the natural sedimentation on valley plains by incorrect methods. The right use of land on valley plains is the meadow which is encourages haugh-loam deposition. Arable cultivation in the valley floors—on the Leine upstream Göttingen up to 60% of the total—leads, on the contrary, to additional erosion. This arable is a recent development dating from the time since the river regulations. It is unimportant in the formation of haugh-loam during the historical period. The connection between formation of the haugh-loam and soil erosion is clearly demonstrated.

It is now nessecary to consider conditions in the region of the haugh-loam's origin, the possibilities of an increased soil erosion there and quantitative measurements that process.

To gain a full comprehension of the morphogenetic connection between formation of haugh-loam and soil erosion which by man's action highly exceeds the natural action, it is necessary not only to study the region of deposition but also that of origin. There many hints may be obtained. Present soil erosion is not the only object of study; research into the development of the cultural landscape also gives valuable information. As is well known, man has increased soil erosion by clearing the woods and land reclamation. This anthropogenic factor has been repeatedly studied by GRAHMANN and NATERMANN and by MENSCHING, being inspired by them. There is a geographical complex in that process which cannot be studied from one point of view only.



The beginning of intensive clearing did not start at one time everywhere. Corresponding to it, the increase of soil erosion as well as deposition in the valley plains began to increase during different periods of man's culture, as shown in the alluvial sediments. The conversion of the forest cover into arable led to soil erosion, and the most exposed areas were the slopes. Observations of fossile Lynchets and ridges and furrows, cut by borders of woods, have shown that the surface of the present arable lies 50 cm below the adjacent wooded ground (JÄGER and SCHERZER, 1956). Moreover in the large network of sunken roads, common in the German scene, are carried away great quantities of soil material, mainly after heavy rains. Ditches and manmade gullies are best suited to the measurement of soil erosion on slopes. Ditches and gullies act as canals to the natural sheams and as catchers.

Not all seasons are like importance for the formation of haughloam. The prime condition is a flood, as the haugh-loam is the product of high-water. Rivers gain most of their materials in times of no or scarce vegetation cover. Both conditions occur in Germany usually between December and May; seldom in summer (comp. NIETSCHE, 1955). According to the statistics of floods, winter is decisive for haugh-loam formation whilst in connection with the melting of snow, the spring months, February up to April are important.

The later months with Alpine snow smelting are less important. For in the hydrographical region of the alpine rivers there is far less loam as than in those of the northern chain of mountains. There, being relatively low, snow smelting usually starts much earlier. The maximum content of floating materials (60% of the total) is reached in June and July (v. RINSUM, 1950).

Thin haugh-loam stratus cover the alpine river plains but not before they enter the lower country. SUMMARY: Conditions for increasing soil erosion are temporal want of vegetation in winter and denudation of soil by ploughing. Moreover in winter there is an additional loosening by frost and piprake or needle ice. During winter and spring these materials are carried away by all heavy rains and partly deposited again by floods.

#### AGE OF HAUGH-LOAM STRATUMS:

Haugh-loam, superimposed upon Pleistocene gravels of the recent valley floor, was certainly deposited in thin layers before the beginning of the clearing of the woods. There is a genetic difference between the filling of cut off arms of rivers (oxbows) with clayey sediments and the deposition of haugh-loam. Some authors believe that there was a continuity in the sedimentation there being usually no clear limit between them, whit the exception of differences in colour, but no proofs can be adduced. Moreover, there are clear differences in grain size analysis. The sediments of dead river arms and channels consists predominantly of clays, whereas in the haugh-loam the portion of the clay fraction remains between 10-20% and does not surpass 25%. The clay sediment fractions of every river, especially in the downstream parts of the North German regions, where the land is sinking, are dated by pollen analysis as belonging to the Atlantic phase (NIETSCHE, 1955). There is no doubt about it. But there is no proof of a higher age of the brown haugh-loam cover. A quick increase of the rate of sedimentation, the beginning of the mass-sedimentation of haugh-loam depends only on the far reaching clearing of the woods by man.

When the formation of haugh-loams layers started, the valley plains were situated at a deeper level than today; the difference being the thickness of haugh-loam; because of that smaller high-waters were able to flood the total valley plain than is the case today. The perhaps low flood frequency during and after the post-glacial optimum of wood expansion up to the beginning of haugh-loam formation

is certainly caused by the large extent of wood; for the wood makes a decisive influence on the rhythm of water flow. Not before the invasion of man and the conversion of wood into arable and settled areas can an action begin, resulting in increased soil erosion and floods and the formation of haugh-loam (Müller, 1956). Because of this there was a change in the scenery of the original valley floor, which was not without any vegetation, but had «Aue-Bruchwälder». Many finds of trunks at the base of haugh-loam (Mensing, 1951 and others) prove that there was an «Auewald» with many oaks. That original «Aueforest» was destroyed with the increase of sedimentation. The causes are very complex ones. The many floods, produced by the clearing of the mountain woods changed the local factors, moreover man himself has cut out the oaks of the «Auewald» in the course of settling. In the vicinity of Leipzig prehistoric sites of settlements of the bronze age have been discovered situated in the valley plain below a 2,3 m thick haugh-loam stratum (TACKENBERG, 1937). On other German rivers younger finds have been made, mainly of the Dark Ages, below still thicker loam covers. These differences in age hint at a temporal difference in the beginning of the haugh-loam formation in individual river-valleys. In any case, there is a close connection between expansion and intensification of arable and haugh-loam formation. The cited differences in age correspond to the density of settlements of Central- and Western Germany, mapped lately by MÜLLER-WILLE 1956. The beginning of the formation of haugh-loam strata was followed by the conversion of 'Aueforest' into 'Auemeadow' as a man-made action, strikingly characterised by Gradmann (1932), in the phrase 'no meadow without scythe'.

#### SUMMARY:

The formation of haugh-loam is a geographical action, starting with the clearing of the woods and leading to more frequent floods through a quicker flow off of the rainwaters. The floods deposited a portion of the material carried away. The raising of the highwater bed beyond the normal level enlarges the river erosion into depth during floods. The sedimentation of haugh-loam can be delayed more and more (Natermann, 1942). There are additional man-made limitations and changes of sedimentation by canals, straightenings and consequently increase in gradient, by dikes and so on.

How may the haugh-loam in any particular region be dated? By:

- 1: Geomorphological-sedimentological investigations.
2. Historical-geographical observations in the field combined with hints and proofs from archival sources.
3. Investigations into the history of vegetation (pollen analysis).
4. Prehistorical and historic finds in the field.

In 1: Geomorphological-sedimentological investigations give indications about the origin of loam. An important connection between haugh-loam and loess deposits has been shown. The haugh-loam layers — manifold divided into younger and older loam — often overly the oldest loam which is very thin, and which dates back into the late glacial phase. The haugh-loams replace follow overly with the gravel of the valley plain, but they are not the natural termination of valley. The grain size of haugh-loam is because of its larger fraction different from the older clay sediments which fill up dead river arms and channels.

In 2. Historical-geographical investigations show by observations in the field as well as by studies in the archives to what degree and with what effect soil erosion took place in the course of the development of the cultural landscape. The region

which provides rivers with the haugh-loam must also be studied, they have hitherto been mostly left undone because there is a close connection between soil erosion and haugh-loam formation.

In 3. Studies of vegetation history are important for the knowledge they reveal concerning the natural state of the valley plain before the haugh-loams were deposited. They are also very important for dating. Beds containing pollen (mud, peat, mosses) show by pollen analysis that the first clay sediments below the haugh-loam stratum could have been formed already during the Atlantic Phase. In some cases these investigations place the haugh-loam in the later phase of Holocene.

In 4. Prehistoric finds and those of the Dark Ages are made in most of the German valley plains. In many cases they act as indication marks showing that increased sedimentation occurred as a direct result of the clearing of the woods and the spread of settlements. Most of the Westgerman finds indicate that a quick increase of haugh-loam sedimentation took place between the climatic deterioration during the Sub-Atlantic phase up to the reclamation phase of the early Middle Ages and the late Middle Ages. GRAHMANN (1934) is inclined to consider the climate of the Sub-Atlantic phase, with its abundant rain as a cause of the beginning of haugh-loam formation. A further hint is seen in the finds of early bronze age (1000-800 B.C) in Central German valley plains, which show that thereafter sedimentation of haugh-loam started. In every case the creation of an open settled landscape is a prerequisite in that it induces quicker erosion of the loamy soil. The numerous prehistoric and historic finds show that the beginning of haugh-loam formation did not start in all the river valleys at the same time, but everywhere the start lies between the Bronze-Iron-Age period and the early medieval clearings. Some finds show that in many cases a 2-3 m thick haugh-loam stratum was built up in 7-800 years (MENSCHING, 1951). There are a few instances of prehistoric finds on an haugh-loam layer (Nietsch, 1955). The young age of haugh-loams is the result of the erosion of the loess-deposits to a depth of 2-4 dm during the historical period. This was difficult to imagine (Nietsch, 1955), but many historical-geographical observations in the field prove an even higher figure of the extent of soil erosion.

In future investigations into the development of haugh-loam will have to pay attention to the total complex of environmental conditions.

The translation has been made by Dr. H. JÄGER (Institut of Geography, Würzburg) and Dr. E.H. BROWN (University College London) to whom I am much indebted.

#### REFERENCES

- FIRBAS, F. Waldgeschichte Mitteleuropas, II. Band, Jena 1952.  
GRADMANN, R. Unsere Flußtäler im Urzustand. *Z. Ges. Erdk.* Berlin 1932.  
GRAHMANN, R. Konnten die mitteldeutschen Flußauen in vorgeschichtlicher Zeit besiedelt werden? *Mannus*, 26, 112, 1934.  
GROSSE, B. Die Bodenerosion in Deutschland und ihre Kartierung als Grundlage für eine systematische Bekämpfung. *Z. f. Raumforschung*, 1, 1950.  
HEMPEL, L. Über Alter und Herkunftsgebiet von Auelehmen im Leinetal. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, 7, 1956, S. 35-42.  
HÖVERMANN, J. Studien über die Genesis der Formen im Talgrund südhannoverscher Flüsse. *Nachr. Ak. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl.* (IIb), 1, 1953, S. 1-14.  
JÄGER, H. u. SCHERZER, W. Orts- und Flurwüstungen auf der Fränkischen Platte und die Entstehung heutiger Forsten (Man.) 1957.  
LAATSCH, W. Dynamik der deutschen Acker- u. Waldböden. Leipzig, 1944.  
MENSCHING, H. Akkumulation und Erosion niedersächsischer Flüsse seit der Rißeiszeit. *Erdkunde*, V, 1951, S. 60-70.

- MENSCHING, H. Une accumulation post-glaciaire provoquée par des défrichements. *Rev. Géomorph. Dyn.*, 4, 1951, S. 145-156.
- MENSCHING, H. Die Entstehung der Auelehmdecken in Nordwestdeutschland. *Proc. III. Intern. Congr. Sedimentology*, 1951, 193-210.
- MENSCHING, H. Die kulturgeographische Bedeutung der Auelehmbildung. D. Geographentag, *Tag.-Ber. u. Wiss. Abh.* 1952, S. 219-225.
- MÜLLER, H. Ein Beitrag zur holozänen Emstalentwicklung zwischen Meppen und Dörpen auf Grund von pollenanalytischen Untersuchungen. *Geol. Jb.*, 71, 1956, S. 491-504.
- MÜLLER-WILLE, W. Siedlungs-, Wirtschafts- und Bevölkerungsräume im westlichen Mitteleuropa um 500 n. Chr. *Westf. Forsch.* 9, 1956.
- NATERMANN, E. Zur Geologie der Wesermarsch, oberhalb Achim. *Abh. Naturwiss. Verein Bremen*, 31, 1939, S. 154-167.
- NATERMANN, E. Die Änderungen der Wasserstände und ihr Zusammenhang mit der Auelehmbildung des Wesertales. *Die Weser*, 21, 1942.
- NIETSCH, H. Hochwasser, Auenlehm und vorgeschichtliche Siedlung. *Erdkunde*, IX, 1, 1955, S. 20-39.
- NIETSCH, H. Untersuchungen über die jüngere Talgeschichte der Weser bei Schlüsselburg und das Alter des Niederterrassenlehms bei Stolzenau. *Jb. Geogr. Ges. Hannover* 1955, S. 19-28.
- REICHELT, G. Über den Stand der Auelehmforschung in Deutschland. *Pet. Mitt.*, 4, 1953, S. 245-261.
- RINSUM v., A. Die Schwebstoffführung der bayerischen Gewässer. *Beitr. Gewässerkunde, Festschr.*, München 1950.
- SCHULTZE, J. J. Über das Verhältnis zwischen Denudation und Bodenerosion. *Die Erde*, H. 3-4, 1951/52, S. 220-232.
- SÖLCH, J. Die Landschaften der Britischen Inseln, I. Bd. Wien 1951, S. 525.
- TACKENBERG, K. Beiträge zur Landschafts- und Siedlungskunde der sächsischen Vorzeit. *Beitr. z. Siedlungskunde d. Mitteldeutschen Ostens*, Leipzig 1936, S. 15-37.
- UHDEN, O. Bodenabspülung — eine nationale Gefahr. *Arch. f. Landes- und Volkskunde v. Niedersachsen*, 35, 1943.
- VOGT, J. Erosion des sols et techniques de culture en climat tempéré maritime de transition. (France et Allemagne) *Rev. Géomorph. Dyn.*, 4, 1953, S. 157-183.



# EFFECT OF RAINFALLS AND GROUND WATER UPON THE MOVEMENT OF LAND SLIDE

TOSHIO TANIGUCHI

## SUMMARY

It may not be hard to imagine that this action will be provoked by rain-falls and consequently by the permeated water into the ground of the peculiar topographical and geological conditions of the land sliding area, but no experimentation so far has been made concerning this precocity.

Therefore, with the purpose of studying the effect of rain-falls and the ground water upon the daily movement of the land slide, an experiment area has been designated in Kamiya, Okimi-Village, Higashi Kubikigun, Niigata prefecture, where the intrinsic nature of land sliding is to be studied by means of physical analysis according to the data obtained through the observations of the movement of the land and weather conditions since October, 1948.

## 1. INTRODUCTION

In certain areas which have a tendency to landslide topographically and geologically, it is supposed that actions of rainfall and its water permeated to the ground induce landslide.

As far as I am concerned, no study has been made public in regard to the correlation between landslide and rainfall or its permeated water. To make this point clear, I selected an experimental site at a landslide in Kamiya, Okimi-mura, Higashi-kubiki-gun, Niigata Prefecture, where I made a daily observation on displacement velocity of landslide, precipitation and fluctuation of ground water level from October 1948 through November 1951. Based on materials and data obtained there, I attempted physical analysis on the subject and investigated intrinsic nature of action of landslide.

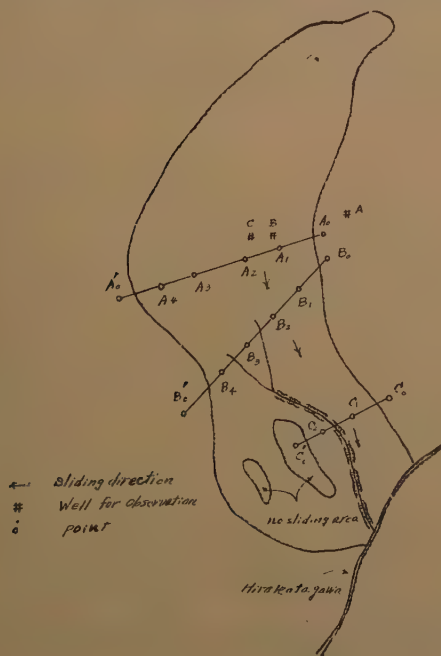


Fig. 1

## 2. OUTLINE OF THE LANDSLIDE IN KAMIYA.

Ground plan of the slide area is shown in Fig 1. The length of the landslide is 1,300 meters. The width is 800 meters at maximum and 400 meters minimum.

The total area covers 70 ha. The average slope is about  $10^{\circ}20'$ . Geological nature of this area is called Nakakubiki — series of tertiary, being composed of shale which contains thin tuff layer. It is said that this landslide originated as old as 700 years ago, and was most active soon after the Ansei Earthquake which occurred 200 years ago. After that the area kept stable until 1872, when it again started to move slowly.

This movement has been continuing to this date, occasionally making a notable movement in thawy season and in and after a heavy rain.

### 3. METHODS USED FOR OBSERVATION AND RESULTS

Displacement velocity of landslide, precipitation, atmospheric temperature, ground temperature, atmospheric pressure, snowfall, snowdepth and ground water level were observed daily at a fixed time.

Displacement velocity was observed at ten points on lines, A, B and C, as shown in Fig. 1.

Ground water level was observed at three wells which were sank at different sites. Displacement velocity shows the values obtained at  $B_2$ , because  $B_2$  showed most active movement compared with other points.

### 4. ANALYSIS

Dr. C. Tsuboi's weighted mean is used in order to show the influence of precipitation and ground water level on displacement velocity.

Supposing the precipitation or the ground water level is represented by  $f(x)$  and displacement velocity by  $F(x)$ , the correlation between  $f(x)$  and  $F(x)$  is shown in the expression of

$$F(x) = \int_0^{2\pi} f(x + \alpha) \varphi(\alpha) d\alpha \quad (1)$$

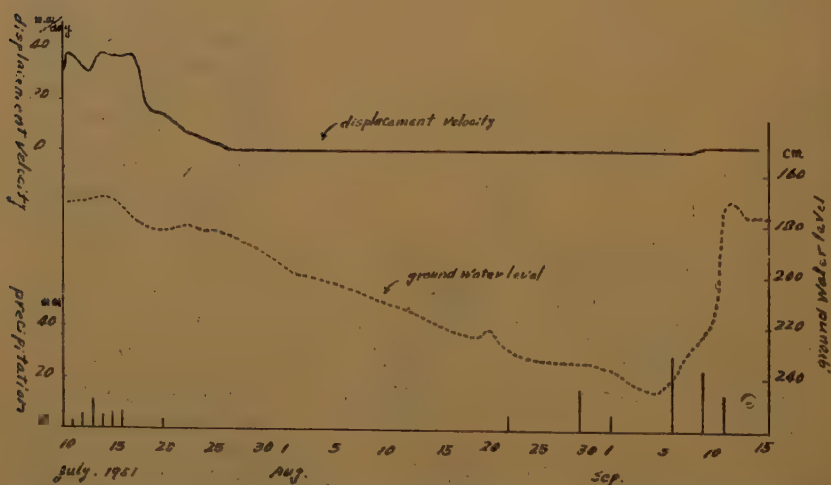


Fig. 2 — shows a part of the values of displacement velocity, ground water level, and precipitation.

Assuming that  $F(x)$  and  $f(x)$  are expansible into Fourier series,  $\varphi(x)$  may be written as

$$\varphi(x) = \sum \frac{1}{\epsilon_m \pi} \frac{a_m A_m + b_m B_m}{a_m^2 + b_m^2} \cos mx + \sum \frac{1}{\pi} \frac{b_m A_m - A_m B_m}{a_m^2 + b_m^2} \sin mx \quad (2)$$

( $\epsilon_m = Z$  when  $m = 0$ ,  $\epsilon_m = 1$  when  $m \geq 1$ )

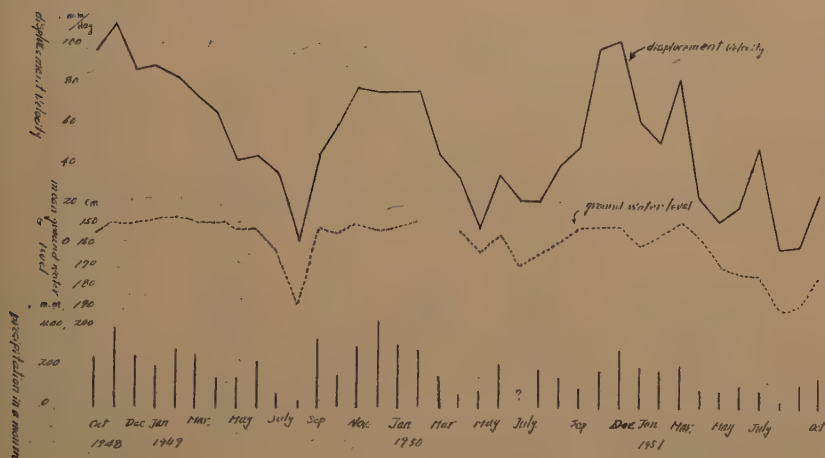


Fig. 3 — shows the values of displacement velocity, ground water level and precipitation observed during October 1948 through November 1951.

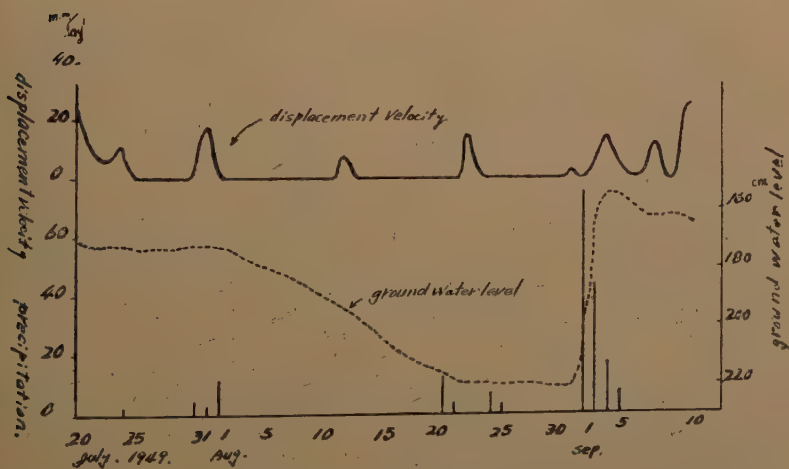


Fig. 4 and Fig. 5 — show a part of the values observed during summer 1949 through summer 1951.





If displacement velocity of landslide can be expanded into Fourier series of which coefficients are  $A'_m$  and  $B'_m$  and that order of harmonic analysis is 12th,  $A'_m$  and  $B'_m$  are shown as follows, because each values of displacement velocity is equal to the value of each interval of  $15^\circ$  of Fourier series,

$$A_m = A'_m \times \frac{z\pi}{360} \times 15$$

$$B_m = B'_m \times \frac{z\pi}{360} \times 15$$

Accordingly

$$\alpha_m = \frac{1}{12 \epsilon_m} \frac{a_m A'_m + b_m B'_m}{a_m^2 + b_m^2}$$

$$\beta_m = \frac{1}{12} \frac{b_m A'_m - a_m B'_m}{a_m^2 + b_m^2}$$

using then,  $\alpha_m$  and  $\beta_m$ , weighted mean  $f(x)$  is shown as follows;

$$\Phi(x) = \sum_m \alpha_m \cos m x + \sum_m \beta_m \sin m x \quad (3)$$

TABLE 1

date	displacement	precipitation	ground water
	velocity mm/day	mm	level cm
apr. 6	28	13.5	158
7	45	13.0	158
8	37	27.0	154
9	26	0	161
10	19	0	163
11	11	0	164
12	11	0	164
13	6.5	0	164
14	6.5	0	165
15	11.5	0	165
16	11	0	166
17	0	0	166
18	2	0.1	166.5
19	2	0	166
20	2	0	166.5
21	3	8.8	166.5
22	6.5	3.5	167
23	6	0	166.5
24	1.5	0	167
25	1	0	168
26	0	6.5	167.5
27	1	0	167
28	0	0	168
29	0	0	174

For an example, evaluation of  $f(x)$  according to the values observed in April 1950 is shown as follows; Table 1 shows precipitation and ground water level from 6th to 29th April, 1950.

In this Table, ground water level is shown by the depth from ground surface.

Table 2 shows  $A'_m$ ,  $B'_m$ ,  $a_m$  and  $b_m$  calculated by means of harmonic analysis in relation to displacement velocity and precipitation in Table 1, and  $\alpha_m$  and  $\beta_m$  evaluated from equation ((3))

TABLE 2

$n$	$F(x)$		$f(x)$		$\varphi(x)$	
	$A'$	$B'$	$a$	$b$	$\alpha$	$\beta$
0	10.0	—	3.0	—	0.139	—
1	8.2	7.9	3.7	0.2	0.280	— 0.168
2	3.7	7.1	2.8	3.0	0.157	— 0.044
3	3.6	7.0	2.2	2.5	0.191	— 0.048
4	— 0.4	3.5	— 0.6	3.1	0.093	0.017
5	0.6	3.0	0.1	3.4	0.074	0.012
6	0	3.3	— 0.2	0.4	0.542	0.291
7	0.5	0.4	— 1.5	— 0.3	— 0.031	0.014
8	0.6	2.2	— 0.2	— 1.2	— 0.161	— 0.018
9	— 0.1	0.8	— 0.4	— 2.0	— 0.032	0.046
10	0.5	0.3	0.9	— 0.5	0.025	— 0.045
11	0	— 0.2	2.7	— 0.6	0.001	0.005
12	0.5	—	1.2	—	0.036	—

Weighted mean is C. G. S. system of unit par  $15^\circ$  (per day) for unit precipitation shown in Table 3.

TABLE 3

date	$x$	up to 3rd Harmonies $\times 10^{-3}/\text{mm}$	up to 6th Harmonies $\times 10^{-3}/\text{mm}$	date	$x$	up to 3rd Harmonies $\times 10^{-3}/\text{mm}$	up to 6th Harmonies $\times 10^{-3}/\text{mm}$
	0 <sup>o</sup>	0.77	1.47	— 9	225 <sup>o</sup>	0.18	— 0.07
—23	15	0.59	1.08	— 8	240	0.23	0.76
—22	30	0.29	— 0.28	— 7	255	0.17	0.39
—21	45	0.02	— 0.49	— 6	270	0.10	— 0.47
—20	60	— 0.17	0.24	— 5	285	0.09	— 0.09
—19	75	— 0.21	0.21	— 4	300	0.19	0.84
—18	90	— 0.14	— 0.47	— 3	315	0.40	0.63
—17	105	— 0.05	— 0.31	— 2	330	0.63	— 0.10
—16	120	— 0.01	0.36	— 1	345	0.77	0.42
—15	135	— 0.04	— 0.13	0	360	0.77	1.47
—14	150	— 0.13	— 0.62				
—13	165	— 0.17	— 0.34				
—12	180	— 0.17	0.46				
—11	195	— 0.07	— 0.16				
—10	210	— 0.09	— 0.48				

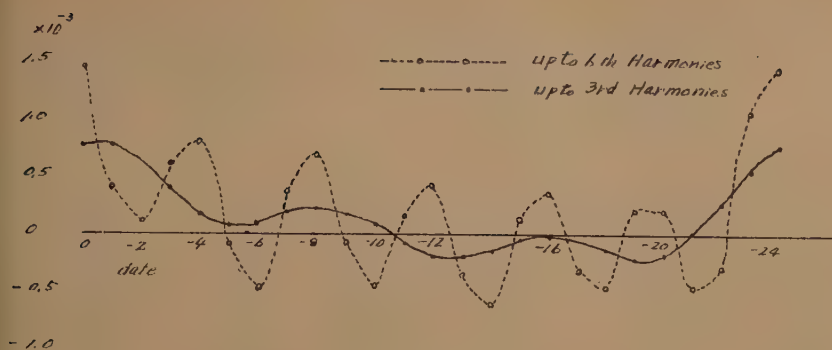


Fig. 6

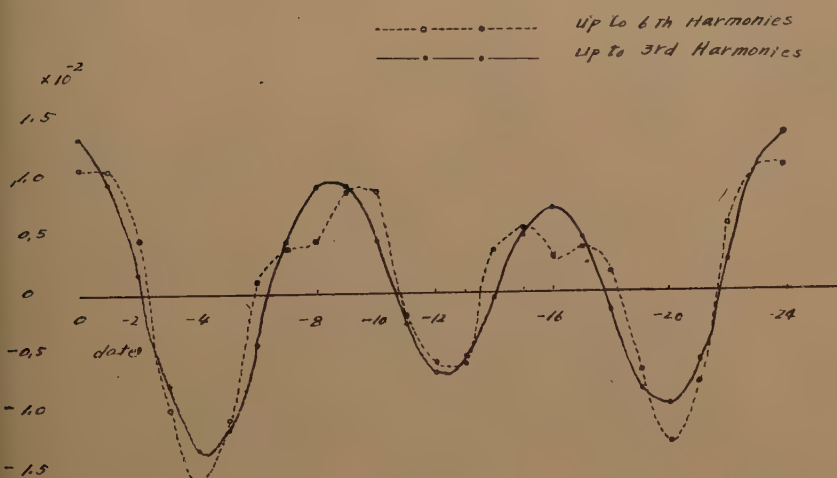


Fig. 7

Fig. 6 also shows it graphically. In the result of analysis to up the third order and the 6th order of Fourier series in this figure, the influence of precipitation is most prominent on the day of rainfall and the following day. It becomes approximately 80% of the influence on these days on the third day, 50% on the 4th day and 25% on the 5th day.

Accordingly, a conclusion is drawn that the landslide is most active on the day of rainfall and following two days.

Table 4 shows weighted mean in C.G.S. system of unit for unit fluctuation of ground water level per day and Fig. 7 shows it graphically.

In the result of analysis up to the third order and the 6th order of Fourier series in this figure the influence of fluctuation of ground water level is most remarkable for three days, namely the day of rainfall and following two days. Influence is most prominent on the day of rainfall and keeps the same state on the third day.

TABLE 4

date	$x$	up to 3rd Harmonies $10^{-2}/\text{cm}$	up to 6th Harmonies $10^{-2}/\text{cm}$	date	$x$	up to 3rd Harmonies $10^{-2}/\text{cm}$	up to 6th Harmonies $10^{-2}/\text{cm}$
	0°	8.66	16.24	— 9	225	— 0.10	0.74
—23	15	7.43	9.45	— 8	240	— 1.03	— 2.16
—22	30	4.16	2.10	— 7	255	— 1.73	— 4.94
—21	45	0.26	— 4.42	— 6	270	— 3.32	— 3.32
—20	60	— 2.71	0.31	— 5	285	— 4.05	0.90
—19	75	— 3.81	1.09	— 4	300	— 2.97	— 0.02
—18	90	— 3.14	— 3.34	— 3	315	0	— 4.82
—17	105	— 1.51	— 4.67	— 2	330	3.98	— 2.15
—16	120	— 0.29	— 1.19	— 1	345	3.61	5.36
—15	135	0	1.34	0	360	8.66	16.24
—14	150	— 0.66	0.05				
—13	165	— 1.61	— 2.12				
—12	180	— 2.04	— 2.46				
—11	195	— 1.65	0.54				
—10	210	— 0.74	0.13				

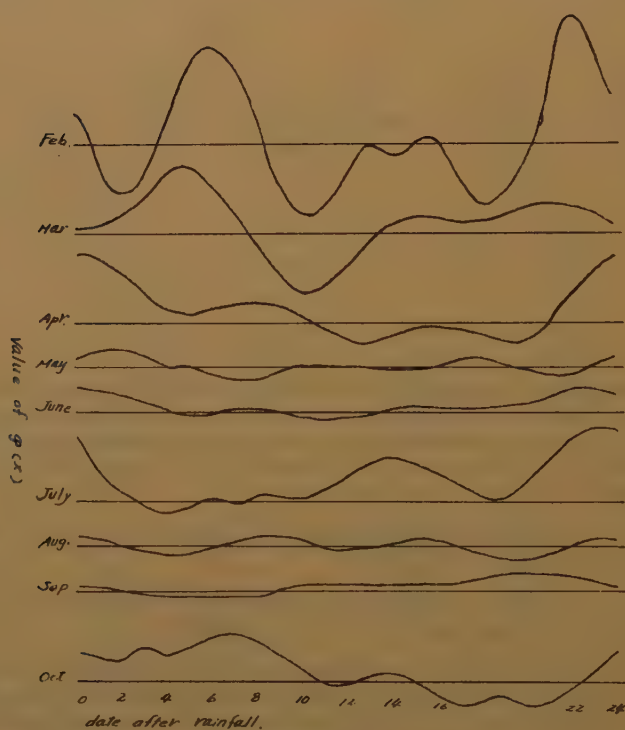


Fig. 8



Fig. 8 and Fig. 9 show influence of precipitation and ground water level on displacement velocity according to the results obtained during the months from February to October.

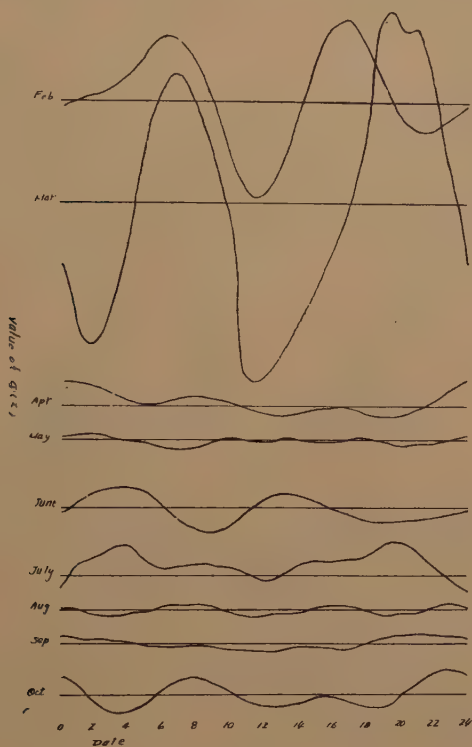


Fig. 9

## 5. INFLUENCE OF RAINFALL ON LANDSLIDE

I found out through this survey that influence of ground water (by which I mean in a wide sense, rain-water permeated to the ground) on the landslide is greater than that of the increased load on the layer. The influence of underground water varies according to the nature of soil on which the rain falls. As to the correlation between precipitation and displacement velocity, when precipitation is much, displacement velocity is also much.

However, making more detailed survey of date, I came to notice that correlation between the two is different in summer season which includes the months May through September.

It is evidently read in Fig. 10, which shows the correlation between ground water level at the well A and precipitation and displacement velocity.

Fig. 11 shows means per diem of evaporated volume and precipitation in each month, according to the records of the past 56 years at Niigata Meteorological Observatory, and displacement velocity on the same diagram.

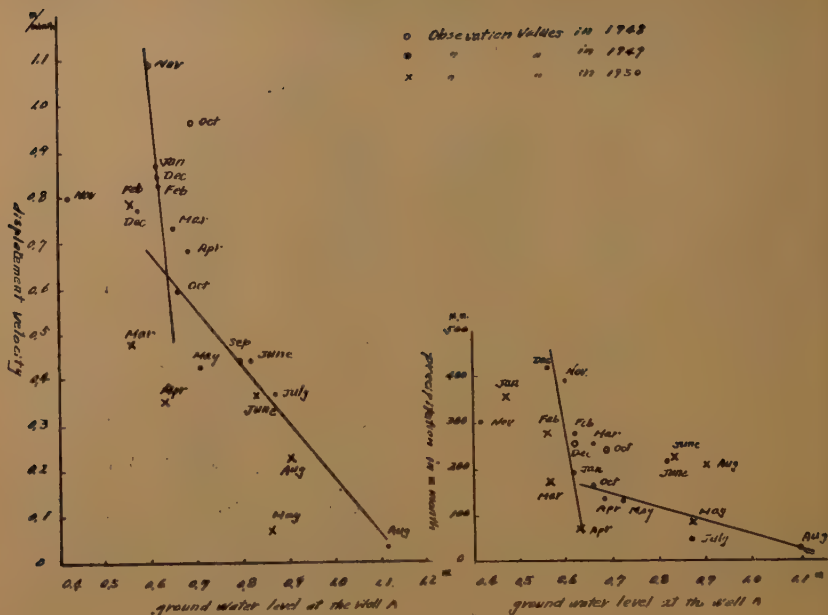


Fig. 10

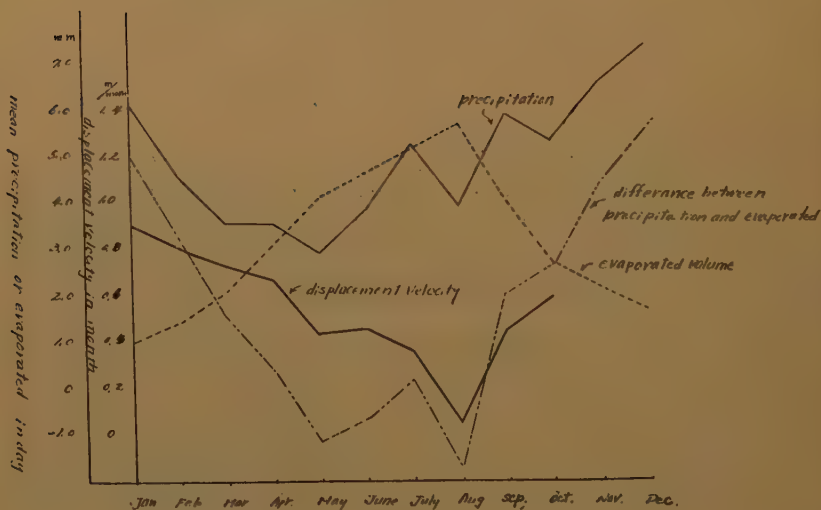


Fig. 11

It tells us that the seasonal difference is caused mainly by the increase in the evaporated volume in summer rather than by the falls of ground water level.

According to Fig. 11, evaporated volume in summer is much greater than in other seasons. It means only a part of precipitation permeates to the ground in summer. In fact, ground water level decreases during May through August by evaporation, which affects physical property of soil to change. I consider that is the main cause of the seasonal difference.

Fig. 8 shows correlative functions of rainfall and displacement velocity in each month. It shows that influence on displacement velocity is most remarkable on the day of rainfall, and it gradually decreases after that.

In general, influence on displacement velocity is not observal 3 or 4 days after the day of rainfall. On the contrary, in autumn and winter, displacement velocity is not affected immediately by the rainfall.

In most cases, the strongest effects appears one week after the day of rainfall

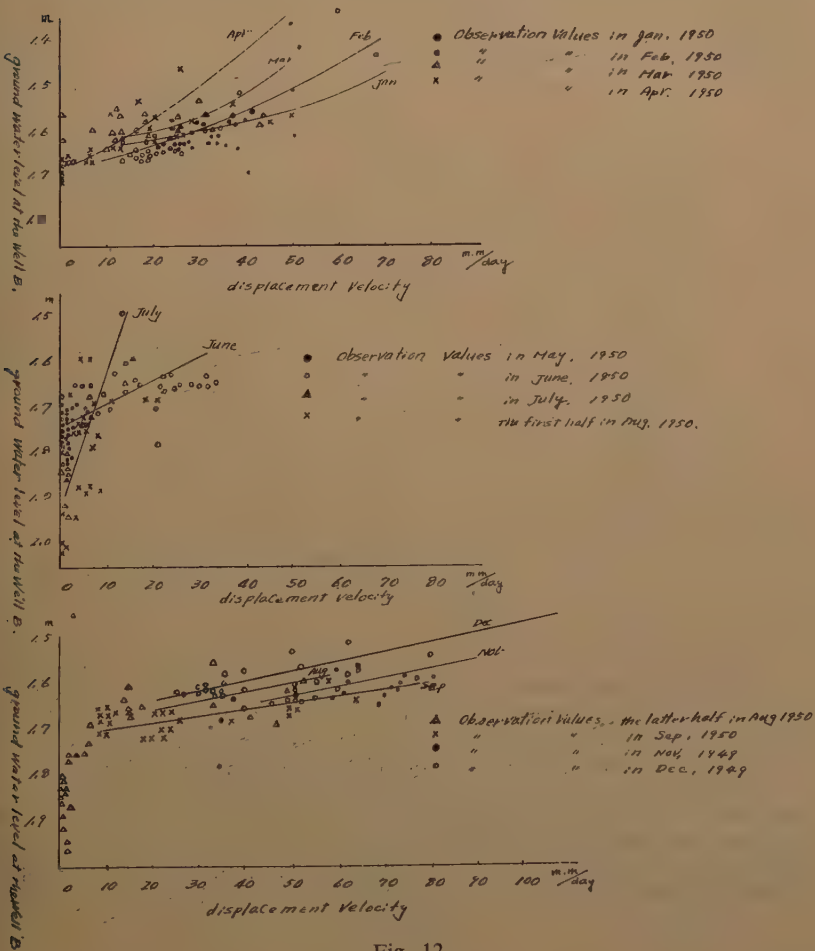


Fig. 12

This means when underground water exists sufficiently, rainfall does not affect landslide immediately. On the other hand, the immediate effect of rainfall on landslide in summer means that the condition of soil in summer is most apt to cause landslide.

## 6. INFLUENCE OF GROUNDWATER LEVEL ON LANDSLIDE

Correlative function of ground water level and displacement velocity is shown in Fig. 9.

Considerable seasonal difference is also noticed in this diagram.

Fig. 12 shows the ground water level at the well B and displacement velocity of each month.

The fact tells us that, in any month, water level at 1.70 meters marks a basic point at which displacement starts. When ground water level is between 1.70 m and 1.50 m, it can be said that the lower the ground water level is, the speedier the displacement occurs, although it slightly differs month by month.

In order to make this point clear, correlation between ground water level and displacement velocity during August 1950 is shown in Fig. 13.

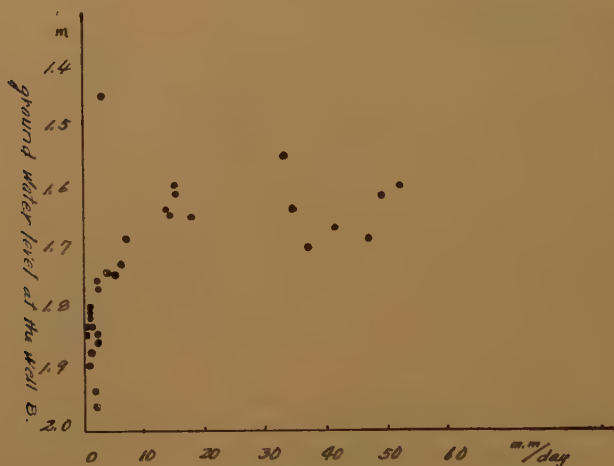


Fig. 13

According to this diagram, no change in displacement velocity is noticed when ground water level is lower than 1.76 m.

When ground water level is higher than 1.76 m but between 1.65 m, displacement velocity increases in reverse relation to the ground water level.

However, as it reaches up to 1.60 m, change in displacement velocity occurs uncorrelatively with ground water level.

From these facts, it is known that landslide in this area occurs when ground water level reaches up to 1.76 m. Therefore I presume, the landslide may be prevented by keeping the ground water level under 1.76 m.



## 7. CONCLUSION

Through detailed survey on displacement velocity, precipitation and ground water level of the typical landslide in Kamiya, Niigata prefecture.,

- 1) Correlations between precipitation and displacement, velocity, ground water level and displacement velocity.
  - 2) Seasonal difference
  - 3) Cause of seasonal difference
- are all cleared.

As the result, it is now possible to infer the displacement velocity from the values of precipitation. Also, it is known that there is a one point in ground water level where the displacement velocity becomes zero.

I hope this report well provided some idea in the way of preventing landslide.

# GEOLOGICAL PROPERTIES OF LANDSLIDE IN THE VICINITY OF VOLCANOES IN JAPAN

S. AKUTAGAWA

Causes of landslides were geologically examined on a few volcanoes in Japan where intense landslides occurred.

The mode of location of landslides on volcanoes is classified into two: on volcanoes proper (lava, volcanic detritus etc) and in base rocks. On volcanoes proper, landslides are conspicuous at the boundary of lava and volcanic detritus and in the agglomerate. The landslides in base rocks often have larger scale than those occurred in volcanoes proper. Both cases have their characteristic aspects.

The landslides in base rocks are closely connected with fissures, joints, faults and bedding of base rocks and are affected by hydro-thermal action, mineralization and especially by fracturing of base rocks. And the creeping type is found in this group.

It is certain that the landslides in base rocks or the fracturing which is regarded to cause the landslides are distributed in the vicinity of volcanoes but they can also be traced in zonal arrangement.

The above fact suggests that the occurrence of landslides is influenced by geological structure, as the fact that many landslides are developed on the volcanoes where base rocks are distributed to higher sides of mountains.

# THE USE OF DIVING IN FLUVIAL-MORPHOLOGICAL INVESTIGATIONS

DR LENNART ARNBORG

The fluvio-morphological processes in rivers have earlier been investigated by means of various measuring instruments which were lowered into the water, while visual studies of the bottom could be carried out only in exceptional cases either directly or, for instance, with the help of a bathyscope. But on account of impurities in the water, among other things, direct observations can rarely be carried out below a depth of a few metres.

In the summers of 1956 and 1957 the author had the opportunity of descending into the lower part of the river Angermanälven and Umcälven in Sweden in a light diving outfit, a so-called frogman's outfit.

## EQUIPMENT AND METHODS

The diving dress consisted of a rubber jacket with a hood, rubber trousers, swimming fins, and a complete mask for the face (Fig. 1). Air was as a rule provided through a hose coupled to an air container (40 kg) which was kept in the boat. In this way the diver could stay under water a considerable time. In practice, however, he rarely remained below the surface for more than  $1\frac{1}{2}$  to 2 hours on account of the physical stress. In emergency cases air was available in 2 containers of 7 kg each, carried on the back of the diver. A safety rope of spun and braided nylon was fixed round the waist of the diver. Its upper end was entrusted to a man in the boat. The rope was provided with a telephone wire. When observations were made over a more extensive area, the diver lay on a sled made of wood and steel, steerable with rudders moved by the diver's feet, and in the vertical direction by separate fins controlled by the hands. The diver's head was protected by a perspex hood at the front of this «Ray-fish». The diving outfit was completed by a belt with a bag for weights, a diver's knife, depth meter, and a compass with clinometer. The photographic outfit consisted of a  $24 \times 36$  mm camera in a watertight perspex case, provided with a flash set. The camera was a mirror reflex Edixa camera with a  $75^\circ$  wideangle Angonieux-Retrofocus lens, Type R 11, f/3.5, focal length 28 mm. With this case it was possible to adjust the focus and aperture, and also to move the film and release the shutter at the appropriate time. When the flashlamps were not used, i.e. when the light from the sun was sufficient, the correct exposure time was obtained from an exposure meter, enclosed in the perspex case in such way that it was possible to operate and read the exposure time under water.

The descents were carried out from a rather sturdy steel boat of  $7\frac{1}{2}$  m length. Descents were carried out in current velocities up to 2 m/sec. When the velocity was high the diver was in general towed behind the boat on the fins. At current velocities between 1 and 2 m/sec the diver was rather helpless against the force of the water. However, he was able to manoeuvre by means of the fins. Manoeuvres in the vertical direction had to be effected by means of the entire body in such a way that a downward bending of head and upper part of the body resulted in pressing the diver downwards, whereas in the opposite case he was driven upwards. At these high velocities as a rule only indistinct photographs were obtained. — At velocities under 1 m/sec the freedom of movement of the diver increased gradually, and below 0.5 m/sec swimming against the current was possible without undue exertion.



Fig. 1 — The frogman with the photographic outfit which consists of a  $24 \times 36$  mirror reflex camera in a watertight perspex case.

Regarding the scientific value of investigations of this kind the following may be said. All direct observations of the morphology of the bottom, the distribution of grain sizes, and the conditions for transport of material on the bottom can be made even at the highest of the above-mentioned current velocities. At velocities below about 1 m/sec the diver is able in addition to make direct measurements upon the bottom, e.g. of the orientation of blocks, sandbanks, bars and ripples, the inclination of the bottom e.g. along a distal slope, the velocity of the current, and the extent of vegetation on the bottom. Compared with all other methods it is of the greatest advantage that observations, measurements, and the taking of samples are possible whatever the position of the formation examined. For instance, samples can be taken from vertical walls as well as from level surfaces. The limiting factors are the velocity of the current and the depth. On account of the lack of search-lights no diving was possible in the river Angermanälven beyond a depth of 15 m. In general, however, the river is not so deep. But floating timber and too much suspended material in the water can make diving impossible.



## SOME RESULTS

The following preliminary results can be communicated from the descents the summer 1956 in the river Angermanälven.

The glaciﬂuvial sediment which comprises the matrix of the bottom of the river within the upper part of the region (Skarped-Multra) contains in certain places relatively coarse blocks and stones. The original gravel content of the esker- or end moraine



Fig. 2 — An erosion pavement developed in glaciﬂuvial esker material. 4 m under water surface  $F = 16$   $T = 1/100$ . Water velocity about 1 m/sec.

material was in several places reduced by the selective action of the water, and an erosion pavement had often developed (Fig. 2). Within certain regions the gravelly material with a grain size of 2-6 mm was being rapidly transported. This transport took place in the form of streams of very loosely packed grains of gravel, undulating as units with a thickness which seemed to be some centimeters between the coarser immovable blocks (Fig. 3).

The bottom morphology formed in the post-glacial fiord sediment which in certain sections of the river could be observed below the surface of the water was of several different types. It could be observed that *the particular vertical erosion scarps characteristic of this valley also occurred below the surface of the water* (Fig. 4).

The cohesive post-glacial fiord material which could be observed below the surface of the water consisted of black and light-coloured varved silty sediments of some millimeters varve thickness. A smaller area of post-glacial homogeneous clay was found within the delta.

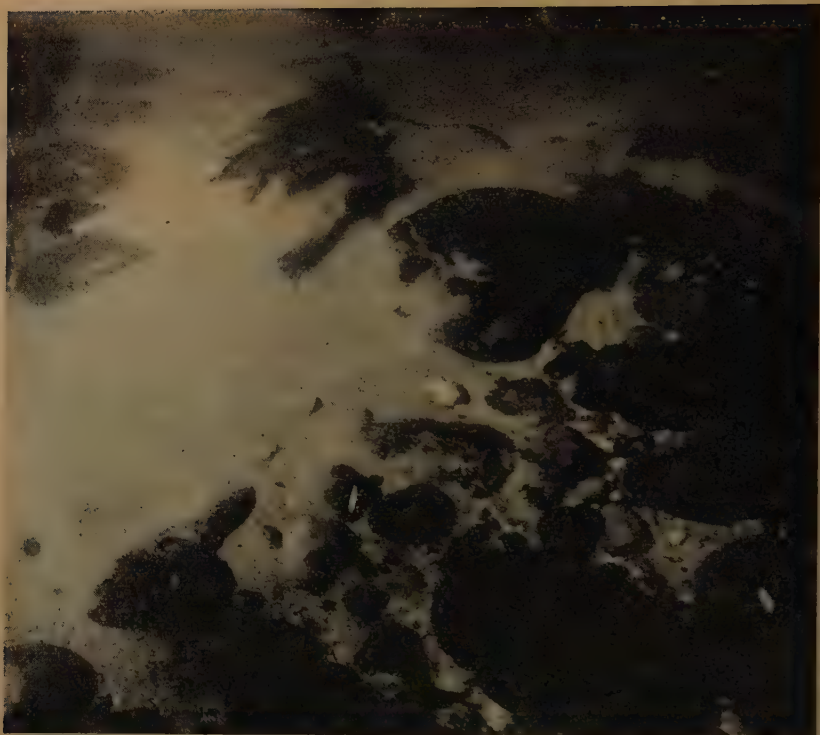


Fig. 3 — Sand and gravel material was transported as layer units between the coarser immovable blocks. Water velocity about 1.5 m/sec. 5 m u.w.s.

#### THE EROSION OF CONSOLIDATED COHESIVE MATERIAL

In a preliminary way it ought to be possible systematically to arrange the different phases of erosion to which the cohesive silty sediment is exposed below the surface of the water in 6 groups.

1. Erosion of single particles and aggregates of particles by:
  - a) relatively clear water
  - b) silty corrodant water
2. Corrosion of cohesive material by bed-load transport.
3. Evorsion by pebbles and stones forming pot-holes.
4. Erosion caused by the existence of cracks in the material.
5. Erosion by peeling of isolated horizontal surface layers.
6. Erosion associated with animal life in the sediment.

1) *Erosion of single sediment grains* is probably uncommon. Usually aggregates of the material are loosened. However, even this seems to be of less importance than the other erosion processes.

A result of this erosion is the areas of smooth sediment with a soapy surface



Fig. 4 — A vertical erosion scarp in cohesive post-glacial fiord sediment at a depth of 5 m below the water surface with the same erosion forms as the supra-aquatic scarps of same material.

consistence. It also seems probable that eddies can be formed close to obstacles. These eddies ought to exert a greater eroding force than the main flow.

2. *Erosion by corrasion* could be studied within the salmon-fishing region at Hakesta, about 4 km below Solleftea. There were horizontal light-coloured surfaces of sizes up to  $25 \times 25$  m, consisting of polished fiord sediment in direct contact with a frictional material of sand, gravel, and pebbles. The surface of the fiord sediment was obviously plished by material transported by the water, a process to some extent resembling «sandblasting», producing a slow wearing down of the surface. In certain cases this also led to the excavation of 20-30 cm deep furrows with their longitudinal direction parallel to the current. Similar formations were found in the lower reaches of Umeälven in 1951. The furrows were much deeper, however: subaquatic ravines 4-5 m deep and 1-2 m wide were not at all unusual. At the bottom of these ravines there were small streams of sand, often quite insignificant in size.

3. *Evorsion*. Stones and pebbles in the bed load may work out cavities in the fiord sediment, forming pot-holes. There are pot-holes of different sizes, from a few cm to more than 100 cm. The depth may vary from 1 to about 50 cm. Figure 5 shows typical small pot-holes on a slope where the outer ones were partly destroyed.

The fiord sediments actually studied (silt and clay) are not easily eroded, since the erosion velocity is above 100 cm/sec. This velocity permits transport of frictional material coarser than 20 mm. Stones may be transported above surfaces of fiord sediment and in some places they may be subject to a whirling motion, whereupon

pot-holes are formed. It seems that the corradng action of the sand may also contribute to the formation of the large pot-holes. It is interesting to observe that evorsion with the formation of pot-holes is a mode of erosion not only on solid rock surfaces, but also on consolidated cohesive material.

The pot-holes are often to be found in connection with some irregularities. They are, however, also to be found on horizontal surfaces.

4. *The appearance of cracks* in the fiord sediment was observed at several places. On account of these cracks lumps break off from the vertical wall of sediment, leaving behind vertical erosion scarps of up to 10 cm depth. The result

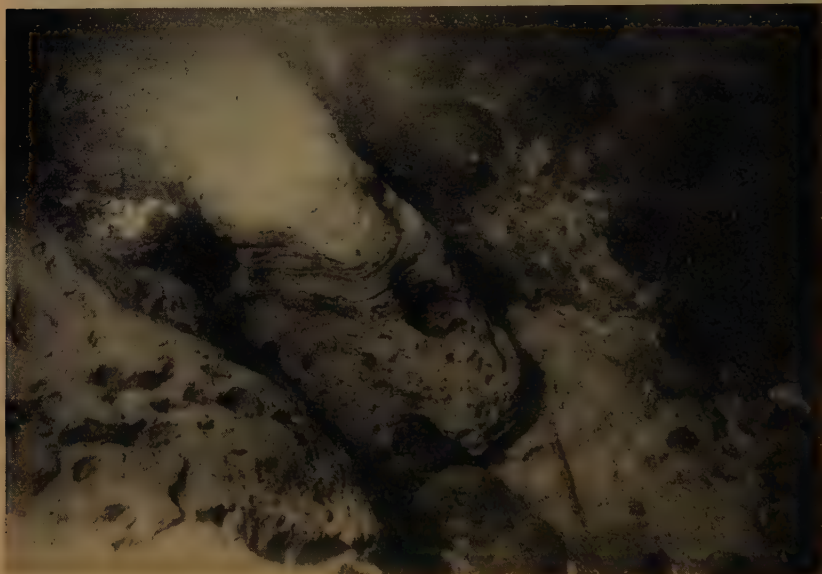


Fig. 5 — Sandstones and pebbles in the bed load have worked out cavities in the fiord sediment forming pot-holes. The ravine-like formation seemed to have been corraded by bed load transportation of sand material.

is very similar to the supra-aquatic erosion scarps created by fiord sediments (cf. fig. 4).

5. Within certain areas it happened that *small horizontal pieces* (a few cm<sup>2</sup>) of one or of several horizontal layers of the sediment *were broken up* and carried away by the water. Within some regions of the delta erosion of this kind took place upon the surface of fiord sediment which was covered by relatively small growth of *Vaucheria*. After the termination of the very brief period of vegetation of these plants the surface assumes a bark-like appearance. In several cases such bark-like surface layers could easily be peeled off from the sediment. However, there are probably other reasons as well for the detachment of cakes of sediment, e.g. in connection with direct attack by corrosion.

6. In addition an other remarkable *attack upon the fiord sediments* could be



observed during the descents, viz. by certain small animals which perforated or excavated the sediment, or cut out furrows in it.

The perforation was the work of certain *Chironomus* spp., 2-3 cm long, about  $\frac{1}{2}$  cm thick, and red in colour. These drilled holes up to 8-10 cm deep perpendicularly into the fiord sediment.

The cavities in the surface of the fiord sediment were produced by the larvae of *Trichoptera Hydropsyche* sp. The larvae are about 1 cm long and 2-3 cm thick, and corresponded in size to the cavities. These were found roughly within the same area of sediment as the canals of the *Chironomidae*, which they in certain cases exceeded in number. These cavities may increase the turbulence and thereby intensify the effect of the water upon the fiord sediment.

A third type of animal which produced furrows in the bottom was some species of *Lamellibranchiata*. These were found both in the fiord sediment and in recent loosely deposited fine sediment. They were also found, though more rarely, in pure sand and gravel, where they were capable of ploughing up furrows 1 m length and with a depth of several centimeters.

#### SOME ASPECTS OF THE UNCONSOLIDATED COHESIVE MATERIAL

Earlier sampling within the delta region indicated among other things that in certain areas a thin layer of fine sediment was superimposed over the sandy material. These samples were taken with a cylindrical sampler giving an undisturbed core of 17 cm length. (The sampler, which is worked by compressed air, and has exchangeable cylinders for the samples has been constructed for investigations in the lower part of the river Angermanälven, and will be described in a report to be published.) However, the method permitted only determinations at single points, and it was difficult to estimate the extension of the covering layer of fine sediment. But with the aid of the frogman's outfit it was easy to survey the bottom, and representative samples could be taken methodically over a particular area. Where the covering layer of fine sediment in areas of accumulation reached a thickness of at least 2-3 cm, a remarkable surface structure with bowl-shaped depressions a few mm deep and resembling thumb-prints were found in the fine sediment (Fig. 6). Their formation has not yet been explained. Occasionally grains of gravel larger than the surrounding underlying material are found underneath them. This observation might suggest their formation by microturbulence. Perhaps certain organisms on the river bed may also contribute to the formation of these hollows. Generally the depressions were about 5-10 cm, but all transitions from elongated forms to more rounded holes about 2-5 cm wide and some cm deep existed. In some cases the development has taken place from pure sand ripples to ripples with distal fine sediment which was deposited in increasingly continuous units. Diving with light equipment probably affords the only possibility of their detailed study in situ.

The erosion of unconsolidated cohesive material was particularly interesting when only a thin fine sediment layer existed on an even sandy surface. A very slight increase of the current, e.g. that caused by the diver, resulted in small clumps of sediment rolling away. These small aggregates were about 1-2 mm in diameter.

#### THE SUB-AQUATIC VEGETATION

There can hardly be any doubt that diving also furnishes the best means for the study of the areas of vegetation. In the lower Angermanälven *Sparganium* sp. could be observed as the most resistant plant. It occurred down to the extreme limit



Fig. 6 — Accumulation of fine sediment on a sandy river bottom which has resulted in the formation of «thumb-print» depressions.

of vegetation at a depth of about 3.5 m, and could thrive in places where the velocity of the current approached 1 m/sec. It was found upon pure gravel as well as upon the accumulated beds of fine sediment. *Fontinalis antipyretica* showed the same resistance with regard to the velocity of the current. It was rarer, however, and was not found beyond a depth of 1 1/2 m. Next in endurance were *Myriophyllum spicatum* and *Ranunculus peltatus*. The later one grew generally at a depth of 1 1/2 m, but rarely upon pure sand. It occurred in places where the sand was intermixed with a certain amount of fine sediment, and at velocities of the current below 0.5 m/sec. Dense growths occurred as a rule only in connection with fine sediment. Upon bottoms of mixed sand and fine sediment within the delta species of *Vaucheria* occurred quite regularly and often in the form of cushions and fringes of considerable thickness. More or less dense growths of *Potamogeton* sp., various *Characeae*, etc., were found only upon fine sediment.

On plants with long stalks trumpet-shaped traps of *Tricoptera*, *Neuroclipsos*, sp., about 5-10 cm long, were frequently found. (Similar traps also occurred directly on the river bed, even on the flord sediment surfaces, when the current was slow.)

# LE CHARRIAGE ET LE DÉBIT SOLIDE EN SUSPENSION DES COURS D'EAU DE MONTAGNES

## ÉTUDE COMPARATIVE DES RÉSULTATS DE MESURES DE CHARRIAGE ET DE SUSPENSION SUR LES COURS D'EAU AUTRICHIENS

DR. TECHN. HERBERT MOOSBRUGGER, GRAZ

La modestie des moyens financiers a limité l'ampleur des recherches systématiques entreprises sur les phénomènes d'érosion dans un but purement scientifique.

Ainsi nous avons été amenés à tirer nos conclusions de recherches effectuées dans des vues pratiques. Il est d'ailleurs encourageant de constater qu'on s'est montré relativement plus généreux dans le financement de ces dernières recherches. On a reconnu en effet qu'il était possible d'établir des lois plus précises concernant les dépôts dans les bassins de retenue en fonction de l'utilisation des forces hydrauliques ou relatives à la régularisation des cours d'eau à transports solides.

De même les conditions des chasses des retenues sont plus faciles à évaluer si l'on connaît le charriage et le débit solide en suspension.

Ainsi par exemple, depuis 1952 d'amples recherches de charriage et de débit en suspension sont effectuées sur l'Enns dans le cadre d'une commission d'études <sup>12 \*</sup>). La Tiroler Wasserkraftwerke AG a entrepris de même depuis 1952 de vastes travaux sur l'Inn <sup>2) 15)</sup>. Des mesures sont faites également sur la Gail depuis 1955 par une commission d'études spécialement créée. <sup>3)</sup> Sur le Danube à Passau depuis 1954, <sup>8)</sup> à Linz <sup>6)</sup> depuis de nombreuses années ainsi qu'à Grein <sup>10) 4)</sup> et Deutsch-Altenburg <sup>4)</sup> depuis 1956 de semblables mesures sont en cours. Les services hydrographiques de Linz et d'Innsbruck ont publié les résultats de mesures <sup>6)</sup> effectuées sur le Danube et sur la Venter-Ache.

On a reproduit ci-dessous diverses analyses de mesures élémentaires effectuées, en principe, chaque jour et qu'il est possible de comparer presque directement à cause de la simultanéité partielle des observations : (voir page suivante)

Il faut particulièrement insister sur le fait que dans les analyses présentées dans cet ouvrage on a utilisé directement les résultats des mesures. De plus les prélèvements, en principe journaliers, ont été autant que possible corrigés en fonction du coefficient de remplissage de la nasse de prélèvement et des relations connues relatives aux études des profils complets. On a tenu compte du fait que, lors des mesures de suspension et de transports solides avec les appareils courants — (sonde à turbidité et nasse de prélèvement) — une certaine fraction du débit solide est trop fine pour être retenue par la nasse et qu'une autre partie est de dimension trop importante pour pénétrer dans la sonde à turbidité.

*Des recherches supplémentaires seront nécessaires pour combler cette lacune. La plus appropriée des méthodes à employer sera l'observation simultanée des prélèvements de suspension et des dépôts dans les retenues. Pour tirer des conclusions valables, les valeurs numériques dignes de foi sont encore trop peu nombreuses. La granulométrie des dépôts permettra de tirer des conclusions certaines concernant le domaine dimensionnel des grains encore inconnu. Ces dernières sont pourtant dangereuses car, comme on a pu le mettre en évidence pour le charriage <sup>12) 13)</sup>, le débit solide a une granulométrie différente de celle des dépôts.*

(\*) Voir Bibliographie.

## 1. Mesures de débit solide en suspension

Station	Bassin versant en km <sup>2</sup>	Période d'observation
1. Enns-Liezen <sup>1)</sup>	2.113	III 1952-56
2. Enns-Großreifling <sup>1)</sup>	4.020	1953-56
3. Enns-Großbraming <sup>1)</sup> <sup>2)</sup>	4.640	1954-55
4. Inn-Prutz <sup>3)</sup>	2.464	V 1952-56
5. Inn-Magerbach <sup>3)</sup>	5.119	III 1953-56
6. Inn-Kirchbichl <sup>3)</sup>	9.313	1952-56
7. Inn-Passau <sup>8)</sup> <sup>4)</sup>	26.131	1954- X 56
8. Donau-Passau <sup>8)</sup> <sup>4)</sup>	50.500	1954- X 56
9. Donau-Linz <sup>6)</sup>	79.510	1948-53, 56
10. Donau-Grein. <sup>10)</sup> <sup>4)</sup>	92.082	1956
11. Donau-Deutsch-Altenburg. <sup>4)</sup>	104.044	IV 1956-III 57
12. March-Angern <sup>4)</sup>	25.624	VII 1956-III 57
13. Gail-Rattendorf <sup>3)</sup>	595	V 1955-56
14. Salzach-Gries <sup>9)</sup>	1.167	VI-X 1955
15. Venter Ache-Vent <sup>6)</sup>	165	VI 1952-56
16. Salza-Gr. Reifling <sup>1)</sup>	867	1954-56

## 2. Mesures de matériaux solides charriés sur le fond

	Mêmes périodes d'observation que précédemment
1. Enns-Liezen	
2. Enns-Großreifling	
3. Inn-Prutz	
4. Inn-Magerbach	
5. Donau-Deutsch Altenburg	
6. Gail-Rattendorf	
7. Salzach-Gries	

Pourtant les résultats obtenus d'ores et déjà à l'aide des méthodes courantes donnent des indications assez étendues sur l'ordre de grandeur des dimensions des matériaux charriés par les cours d'eau. Ils démontrent de plus qu'entre les divers bassins versants et les sections de cours d'eau existent de grosses différences aussi bien par rapport à l'unité de débit que par rapport à l'unité de bassin versant, que d'autre part pour une section bien définie du cours le poids de matériaux charriés ne s'écarte pas d'un domaine déterminé.

Il apparaît à cet effet que les dimensions du bassin versant ainsi que la longueur et la pente du système fluvial n'interviennent qu'en second lieu en ce qui concerne l'intensité du transport de matériaux. La quantité déterminante en premier lieu est la quantité d'alluvions transportables déposées sur les rives et le fond du lit du fleuve et de ses affluents. Les averses sur les vallées latérales augmentent beaucoup plus



les débits de suspension que la fonte des neiges ou que les pluies régulières sur l'ensemble du bassin versant.

La fraction de suspension ayant pour origine la dégradation directe des matériaux transportés est, pour la plupart des cours et des sections de cours d'eau étudiés, beaucoup moins importante que celle provenant directement des rives de l'ensemble du réseau fluvial. Ceci est particulièrement valable lorsque l'érosion s'attaque à des dépôts morainiques composés de particules relativement fines.

Dans la présente étude on est parti des totaux mensuels de débits de suspension et de charriage ( $T$  par mois) ainsi que des moyennes mensuelles des débits ( $Q$  m<sup>3</sup>/s et  $q$  l/s. km<sup>2</sup>) et on en a déduit les valeurs suivantes :

1. Les totaux annuels des transports en suspension et de charriage ( $T/an$ );
2. la turbidité ( $SB$ ) et la charge en matériaux grossiers ( $GB$ ) en g/m<sup>3</sup> par mois et par an;
3. les rapports ( $s$  et  $g$ \*) de  $SB$  et de  $GB$  au module spécifique ( $q$ ) appelés turbidité spécifique et densité spécifique relative en matériaux charriés ( $s = SB/q$ ,  $g = GB/q$ );
4. les totaux annuels relatifs à 1 km<sup>2</sup> du bassin versant;
5. les rapports entre les volumes de charriage et de suspension.

Pour le tracé des graphiques on a choisi la même échelle pour les diverses stations afin de mettre en évidence, autant que possible, l'importance des différences. Pour certaines stations du moins, ce procédé va à l'encontre de la précision, mais ceci a moins d'importance que la distinction des ordres de grandeur.

Les tracés graphiques comportent :

1. Les valeurs annuelles (Annexe 1)
  - a) des turbidités et charge en matériaux grossiers  $SB_3$   $GB_3$  en g/m<sup>3</sup>
  - b) des rapports  $s_3 = SB_3 : q$
  - c) des modules spécifiques ( $q$  en l/s. km<sup>2</sup>)
  - d) des débits annuels solides en suspension ( $T$  par an)
  - e) les valeurs en  $T/an/km^2$  du bassin versant.
2. Les courbes représentatives des valeurs mensuelles de la turbidité en fonction des modules, comme courbes moyennes des nuages de points obtenus pour les diverses stations d'observation (Ann. 2).
3. Les courbes de variation des valeurs mensuelles (Ann. 5 à 8)
  - a) de la turbidité et de la charge en matériaux grossiers ( $SB_2$  et  $GB_2$  en g/m<sup>2</sup>)
  - b) des valeurs  $s_2$  et  $g_2$
  - c) des modules ( $q$  en l/s. km<sup>2</sup>).
4. Les courbes de variation des totaux mensuels de transport en suspension en  $T/mois$  (Ann. 3 et 4).

Les tables contiennent les valeurs mensuelles et annuelles de toutes les stations d'observation (Ann. 9/1 à 9/10).

Le rapport  $s$  qui entre ici en considération n'est autre qu'une valeur caractéristique des relations existant entre la turbidité et le module. Il en est de même pour le rapport  $g$  en ce qui concerne le charriage.

On a introduit ces rapports afin d'obtenir, pour les grandes variations de débit de suspension et de charriage, des chiffres caractéristiques aussi simples que possible en fonction du module. De là viennent leurs noms de turbidité spécifique et de charge spécifique en matériaux grossiers.

Il y a lieu de distinguer trois valeurs différentes de  $s$  :  $s_1$  relative aux valeurs journalières,  $s_2$  aux moyennes mensuelles,  $s_3$  aux moyennes annuelles. Ces valeurs

(\*) Dans toutes les annexes les lettres  $\sigma$  et  $\gamma$  ont été employées pour désigner  $s$  et  $g$ .

ne satisfont pas à une relation linéaire, car le débit liquide n'est pas fonction linéaire des débits de suspension et de charriage.

$s_2$  est toujours plus grand que  $s_1$ ,  $s_3$  toujours plus grand que  $s_2$ . Les quelques journées où la turbidité et la charge en matériaux grossiers sont particulièrement importantes interviennent en effet beaucoup plus dans le quotient des totaux mensuels de débit en suspension et de débit liquide que dans la moyenne mensuelle des valeurs journalières  $s_1$ . Il en est de même pour les valeurs annuelles  $s_3$  par rapport à  $s_2$  et également pour les charriages sur le fond.

Pour mieux connaître les ordres de grandeur on a calculé le rapport des débits annuels de suspension aux dimensions du bassin versant.

Ce rapport n'est pourtant proportionnel à la valeur  $s_3$  que si les modules dans les bassins versants comparés sont égaux.

Il faut encore signaler en particulier que, comme on l'a vérifié sur l'Inn et sur l'Enns, dans toutes les stations d'observation le volume du charriage calculé en moyenne mensuelle et annuelle ne représente qu'une fraction (1/4, 1/13) du volume des suspensions.

Avant de commencer l'étude propre à chaque région indiquons encore que de l'établissement des retenues des centrales hydroélectriques résulte une modification croissante des transports solides dans les différents bassins. Ces constructions entraînent à la longue une importante transformation des conditions naturelles.

Cette remarque est particulièrement valable pour l'Inn, l'Enns et le Danube.

#### LES DIFFÉRENTS BASSINS VERSANTS

##### 1. Enns : altitude maxima = 2.996 m (Dachstein)

	Bassin versant	Altitude	Différence d'altitude	Longueur de la vallée depuis la source	Chute totale sur longueur totale
	E	SH	$h$	$l$	$h:l$
Station Liezen	2.113 km <sup>2</sup>	630 m	2.366 m	95 km	25 ‰
Station Gr. Reifling	4.020 »	437 »	2.559 »	150 »	17 »
Station Gr. Raming	4.640 »	350 »	2.646 »	188 »	14 »

Comme le montre le graphique de l'annexe 1, l'Enns fait partie des cours d'eau alpestres à faible suspension et à charriages peu important. Dans le fleuve vierge les chiffres caractéristiques sont :

pour la moyenne annuelle de la turbidité  
entre 52 et 162 g/m<sup>3</sup>

pour  $s_3$  entre 2,7 et 4,7

et pour le volume annuel par km<sup>2</sup>

entre 52 et 175 T/km<sup>2</sup>.

En aval de la retenue de Gross-Raming ces valeurs sont encore plus faibles.

Le rapport de la quantité de solide en suspension à la quantité de solide charrié sur le fond est voisin, à Liezen, de la valeur moyenne de 8 : 1 ; à Gross-Reifling de 5 : 1. A Gross-Reifling sous l'influence d'une nouvelle retenue les valeurs ont diminué au cours de l'année 1956.

On y constate en outre une réduction du débit solide en suspension due à l'apport de la Salza, cours d'eau à faible turbidité.

2. *Inn* : Altitude maxima = 4.055 m (Bernina)

	E	SH	h	l	h:l
Station Prutz	2.464 km <sup>2</sup>	864 m	3.191 m	110 km	29 ‰
» Magerbach	5.119 »	656 »	3.399 »	156 »	22 »
» Innsbruck	5.794 »	570 »	3.485 »	202 »	17 »
» Kirchbichl	9.313 »	488 »	3.567 »	270 »	13 »
» Passau	26.131 »	302 »	3.753 »	498 »	7,5 ‰

Dans son cours moyen l'*Inn* fait partie des cours d'eau à plus fort débit solide en suspension rencontrés dans cet ouvrage. A Kirchbichl la turbidité est particulièrement grande par suite des apports importants des vallées latérales. En aval la densité décroît à nouveau très rapidement. Cette décroissance est due non seulement à l'apport des cours d'eau à faible turbidité, mais aussi au nombre croissant des aménagements hydro-électriques.

La turbidité oscille entre les valeurs :

Prutz	entre	64	et	271 g/m <sup>3</sup>	(s <sub>3</sub> de 2,2 à 9,0)
Magerbach	»	178	»	242	» (s <sub>3</sub> » 4,9 » 8,7)
Innsbruck	»	188	»	309	» (s <sub>3</sub> » 7,1 » 10,9)
Kirchbichl	»	478	»	962	» (s <sub>3</sub> » 16,3 » 34,4)
Passau	»	158	»	292	» (s <sub>3</sub> » 4,8 » 8,8)

On constate que les valeurs relatives aux trois premières stations sont du même ordre de grandeur que celle relative à la dernière, des facteurs artificiels entrant toutefois en ligne de compte à Passau.

Les volumes annuels de débit solide en suspension ramenés au km<sup>2</sup> du bassin versant adoptent des valeurs semblables pour les trois premières et la dernière stations.

Ils sont à :

Prutz	entre	57	et	260 T/km <sup>2</sup>
Magerbach	»	150	»	213
Innsbruck	»	159	»	260
Kirchbichl	»	406	»	855
Passau	»	150	»	306

L'accroissement moyen du débit solide en suspension est en amont de Kirchbichl directement proportionnel à l'accroissement du bassin versant et inversement proportionnel à la pente. Pour la moitié inférieure du fleuve ces relations sont inversées, d'après les études de Passau.

Le rapport du débit solide en suspension au débit des matériaux charriés sur le fond atteint à Prutz une moyenne de 13,3 : 1, à Magerbach 12,5 : 1. Sur l'*Inn* en ces mêmes lieux les transports solides cessent en dessous d'un certain débit. <sup>15)</sup>

3. *Venter-Ache* : altitude maxima = 3.774 m (Öztaler Wildspitze)

	E	SH	h	l	h:l
Station Vent	165 km <sup>2</sup>	1.878 m	1.896 mm	16 km	118 ‰

La Venter-Ache située dans la partie sud du bassin versant de l'Inn est un type de cours d'eau à forte turbidité.

Les valeurs moyennes annuelles oscillent entre 1.015 et 1.710 g/m<sup>3</sup>  
la valeur  $s_3$  entre 24 et 59,  
le volume annuel par km<sup>2</sup> entre 1.150 et 1.520 T/km<sup>2</sup>

(voir annexe 1)

La forte turbidité provient visiblement de l'entraînement de grandes quantités de matériaux morainiques transportables à l'intérieur du bassin hydrologique.

#### 4. Salza : altitude maxima = 2.278 m (Hochschwab)

	E	SH	h	l	h:l
Station Gross-Reifling	867 km <sup>2</sup>	450 m	1.828 m	80 km	23 ‰

La Salza offre avec la Venter-Ache un contraste prononcé. Ses valeurs caractéristiques annuelles sont : (annexe 1)

Turbidité	$s_3$	T/km <sup>2</sup> /an
31-43 g/m <sup>3</sup>	1,05-1,11	23-49

Ce sont là des valeurs très faibles en comparaison de celles de la Venter-Ache. Dans chacun des cas les valeurs respectives, malgré de grosses différences, sont comprises dans un domaine de variation bien déterminé.

La faible turbidité de la Salza est due à l'absence totale d'éboulis morainiques dans son bassin versant. Les débits solides proviennent de régions de formation géologique dolomitique et d'éboulis calcaires pauvres en roches finement divisées. Le calcaire se dissout en outre en particules de dimensions inférieures à celles du grain minimum, mais que l'on peut filtrer.

#### 5. Danube : altitude maxima = 4.055 m (Bernina)

	E	SH	h	l	h:l
Station Passau	50.500 km	300 m	3.755 m	574 km	6,5 ‰
Station Linz	79.510 »	250 »	3.805 »	665 »	5,7 ‰
Station Grein	92,082 »	220 »	3.835 »	721 »	5,3 »
Station Deutsch Altenburg	104.044 »	140 »	3.915 »	913 »	4,3 »

Comme l'Enns, le Danube appartient aux cours d'eau à faible turbidité. En amont de Passau, c'est à dire en amont de l'embouchure de l'Inn, il fait presque partie du groupe des cours d'eau à très faible turbidité. Comme pour l'Inn et l'Enns les retenues influent sur lui en arrêtant les débits solides en suspension et les matériaux charriés. Aussi les mesures de turbidité effectuées à Linz de 1929 à 1939 donnent-elles des résultats doubles de ceux obtenus à partir de 1948.



Les valeurs caractéristiques de Linz pour la période 1929-1939 (pour la moyenne sur plusieurs années on a choisi l'indice 4) atteignent :

$SB_4 = 139 \text{ g/m}^3$ ,  $s_4 = 7,7$  et le volume annuel au  $\text{km}^2 = 79 \text{ T/km}^2$ ;

alors que pour la période 1948-1953 et l'année 1956, elles sont comprises entre :

$SB_3$	$s_3$	$T/\text{km}^2/\text{an}$
31 et $84 \text{ g/m}^3$	1,7 — 5,3	15 — 59

Les valeurs annuelles caractéristiques de toutes les stations citées ici sont comprises pour les années 1948 à 1953 et pour l'année 1956 dans le domaine suivant :

	$SB_3$	$s_3$	$T/\text{km}^2$
Passau	38 — 69	2,6 — 5,7	18 — 26
Linz (à partir de 1948)	31 — 84	1,7 — 5,3	15 — 59
Grein 1956	70	3,4	46
Deutsch Altenburg 1956/57	62	3,0	39

A Deutsch-Altenburg des mesures de charriage sur le fond ont également été effectuées de la mi-avril 1956 à la mi-avril 1957. L'analyse complète des résultats n'est pas terminée au moment de la rédaction de ce texte. Les chiffres cités devront être encore rectifiés. D'après les résultats provisoires, la charge en matériaux grossiers atteint  $16,1 \text{ g/m}^3$ . Le rapport correspondant entre le débit solide en suspension et le débit solide charrié est égal environ à 4 : 1.

6. *March* : altitude maxima = 1.400 m (Altvater)

	E	SH	$h$	$l$	$h:l$
Station Angern	$25.624 \text{ km}^2$	143 m	1.347 m	270 m	$5,0 \text{ ‰}$

On ne peut donner pour ce cours d'eau de valeurs annuelles, car les mesures de débit ont été entreprises il y a moins d'un an. Les valeurs mensuelles déjà connues ont donné les résultats suivants :

La *March*, avec son faible débit liquide (la moyenne mensuelle des modules  $q$  peut atteindre la valeur minima de  $1,1 \text{ l/s. km}^2$ ) est à considérer comme un cours d'eau à faible débit solide en suspension. Si l'on ramène ce chiffre à l'unité de surface de bassin versant, on constate que la suspension est peu importante. Les moyennes mensuelles observées varient entre les valeurs très basses de  $0,09$  et  $1,28 \text{ T/km}^2$ .

7. *Gail* : altitude maxima = 2.862 m (Sandspitze)

	E	SH	$h$	$l$	$h:l$
Station Rattendorf	$595 \text{ km}^2$	596 m	2.266 m	63 km	$36 \text{ ‰}$

Les volumes en suspension dans la *Gail* sont faibles tant par rapport à son débit que par rapport à l'unité de son bassin versant. Les valeurs annuelles caractéristiques sont :

$SB_3$	$s_3$	$T/\text{km}^2$
$66 \text{ g/m}^3$	2,2	50

Les résultats des mesures présentés dans cet ouvrage indiquent même de très faibles valeurs du charriage. Celui-ci n'a lieu que pour des débits élevés et est inexistant en hiver. Son rapport au débit solide en suspension est égal à 1 : 30 d'après les chiffres obtenus jusqu'ici.

La durée des observations sur la Gail est encore trop brève pour tirer des conclusions définitives. Le transport solide n'a pas atteint ces années dernières les valeurs conformes à la morphologie de la vallée. Les études devront être poursuivies.

8. *Salzach* : altitude maxima = 3.798 m (Grossglockner)

	E	SH	h	l	h:l
Station Gries	1.167 kmf	747 m	3.050 m	70 km	44 ‰

On ne peut donner de valeurs annuelles, la durée des mesures étant inférieure à une année. Les totaux mensuels et les moyennes indiquent que dans cette section de son cours la Salzach a un débit solide en suspension d'importance moyenne. Le rapport entre le transport solide par charriage sur le fond et le transport solide en suspension semble relativement élevé. Actuellement il n'est pas possible d'obtenir une moyenne annuelle.

## RÉSUMÉ

Les résultats d'une mesure régulière des matières en suspension et des éléments de charriage poursuivie durant plusieurs années sur les fleuves suivants : Danube, Inn, Salzach, Enns et Gail sont étudiés, et l'on établit d'une manière systématique leur relation aussi bien avec le débit du cours d'eau, qu'avec les grandeurs et la configuration du bassin versant. On établit également jusqu'à quel point une relation de réciprocité, valable universellement peut être tirée.

Les résultats d'observations produits dans cette étude permettent de tirer les conclusions suivantes sur les transports solides de l'Enns, de l'Inn et du Danube :

1. Malgré les variations anormalement grandes des transports solides des basses eaux aux hautes eaux, les moyennes annuelles pour les différentes sections des cours d'eau oscillent à l'intérieur d'un domaine relativement restreint. Le transport solide augmente en principe lors d'un accroissement du débit liquide. (Voir annexe 2).

2. L'ordre de grandeur des turbidités et de la charge en matériaux grossiers des différents cours d'eau ou sections de cours d'eau est indépendant de l'étendue du bassin versant et de la pente du système fluvial. (Voir les valeurs annuelles à l'annexe 1 et les données sur les divers bassins).

3. Il est uniquement fonction de la quantité de matériaux transportables amassée dans le bassin versant, de l'érosion de cette dernière, de son acheminement au fleuve principal par les pluies suffisamment fortes et la fonte des neiges. Pour les cours d'eau étudiés, le volume en suspension dû à l'usure des matériaux transportés ne représente qu'une faible fraction du total.

4. L'élargissement du bassin tend à supprimer les variations du transport solide, dans la mesure où ce phénomène n'est pas perturbé par de nouveaux apports des vallées latérales.

5. Les dépôts dans les retenues entraînent une profonde modification des conditions naturelles des transports solides.

6. Les mesures effectuées ont permis de classer la turbidité en quatre grandes classes:

a) très faibles turbidités —  $SB_3$  de valeurs moyennes inférieures à 50 g/m<sup>3</sup> (Salza);  
b) faibles turbidités —  $SB_3$  comprises entre 50 et 150 g/m<sup>3</sup> (Enns, sauf années exceptionnelles, Gail et Danube);

c) turbidités moyennes —  $SB_3$  comprises entre 150 et 350 g/m<sup>3</sup> (Inn en amont d'Innsbruck et en aval des centrales hydro-électriques);

d) fortes turbidités —  $SB_3$  supérieures à 350 g/m<sup>3</sup> (Inn à Kirchbichl jusqu'à 953 g/m<sup>3</sup>; Venter-Ache jusqu'à 1.695 g/m<sup>3</sup>).

7. Le débit des matériaux charriés sur le fond n'est, en moyenne, qu'une fraction du débit en suspension. Le rapport des poids varie entre 1 : 4 et 1 : 13.

On n'a pas tenu compte dans l'analyse des résultats du volume des grains non retenus par la sonde et par la nasse. Des recherches supplémentaires seront nécessaires pour combler cette lacune.

# TABLE DES ANNEXES (\*)

## Annexe

1. Valeurs annuelles et chiffres correspondants .....	1
2. Courbes représentatives des valeurs mensuelles de la turbidité $SB_2$ en fonction du module spécifique $q$ .....	2
3. Courbes de variations des transports solides mensuels en tonne par mois Enns, Danube, March .....	3
Inn et Venter-Ache .....	4
4. Courbes de variations des valeurs mensuelles de la turbidité ( $SB_2$ ) et de la charge en matériaux grossiers ( $GB_2$ ) Courbes des turbidités spécifiques $s_2$ des charges spécifiques $g_2$ du module spécifique $q$ .....	5
Enns .....	6
Danube et March .....	7
Inn, Gail et Salzach .....	8
Venter-Ache .....	
5. Tableaux des valeurs mensuelles .....	9/1,2
Enns-Liezen .....	9/2,3
Enns-Grossreifling .....	9/3
Enns-Grossraming und Salza-Grossreifling .....	9/4,5
Inn-Prutz .....	9/5,6
Inn-Magerbach .....	9/6
Inn-Kirchbichl .....	9/7
Inn-Passau .....	9/7,8
Venter-Ache .....	9/8
Gail-Rattendorf .....	9/8
Salzach-Gries .....	9/9
Donau-Passau und Linz .....	9/10
Donau-Grein und Deutsch Altenburg .....	9/10
March-Angern .....	

(\*) Dans les annexes on a employé les lettres  $\sigma$  et  $\gamma$  pour désigner  $s$  et  $g$ .

# BIBLIOGRAPHIE

- (1) Berichte der Enns-Studienkommission Nr. 1, 2, 4, 6 und 8 (1952-1956).
- (2) Berichte der Tiroler Wasserkraft AG. (1952-1956).
- (3) Berichte der Studienkommission für die Wasserwirtschaft des Gailgebietes 1955/56.
- (4) Messungen des Bundesstrombauamtes Wien.
- (5) Messungen des Bundesstrombauamtes Wien.
- (6) Jahrbücher des Hydrographischen Zentralbüros Wien.
- (7) Messungen der Hydrographischen Landesabteilungen Graz, Linz und Innsbruck
- (8) Messungen der Ennskraftwerke AG. Steyr.
- (9) Messungen der Jochenstein AG. Schärding.
- (10) Messungen der Tauernkraftwerke AG. Kaprun.
- (11) Messungen der österreichischen Donaukraftwerke AG.
- (12) ROSENAUER : Wasser und Gewässer Oberösterreichs — *Schriftenreihe der oberösterreichischen Landesbaudirektion* Nr. 1/1946.
- (13) MOOSBRUGGER H. : « Der Geschiebehalt eines Gebirgsflusses », Veröffentlichung Nr. 38 der Association Internationale d'Hydrologie 1954.
- (14) MOOSBRUGGER H. : « Untersuchung von Geschiebeablagerungen im Enns-Flussbett », *Mitteilungsblatt der Abteilung für Mineralogie am Landesmuseum Graz*, Heft 2/154.
- (15) SPERLICH R. und DÖRFLER L. : « Gütezifferbestimmung von Modell-Geschiebefängern », 4. Folge der Mitteilungen des Flussbaulaboratoriums im Landesbauamt Graz 1953.
- (16) RUDOLF K. : Untersuchung der Geschiebe- und Schwebstoffführung am Oberlauf des Inn, *Mitteilungsblatt* Nr. 15 des Hydrographischen Dienstes in Österreich, HZB Wien 1956.

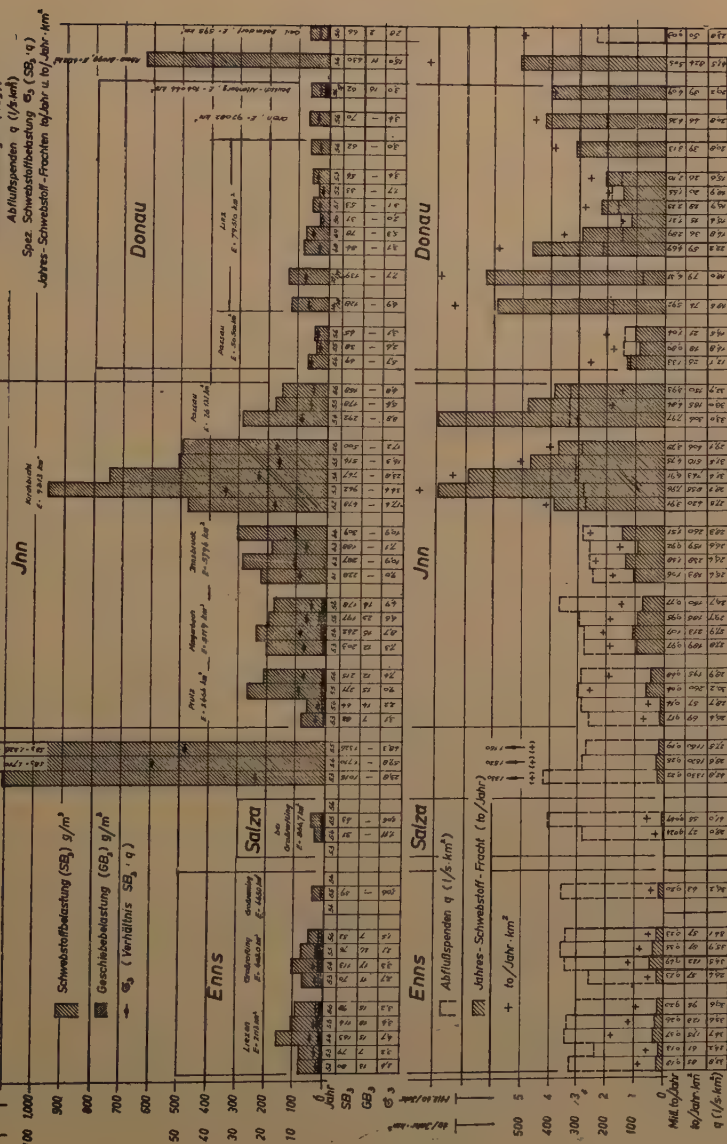
*Traduction des termes allemands utilisés dans les annexes (classés par ordre alphabétique)*

Abflusspende $q$ l/s. $km^2$	module spécifique
Bezugslinie	courbe représentative
Blg (= Beilage)	annexe
E (= Einzugsgebiet)	bassin versant
Ganglinie	courbe de variations
Geschiebe	matériaux charriés sur le fond
Geschiebebelastung (GB) $g/m^3$	charge en matériaux grossiers
Jahr	année
Jahreswert	valeur annuelle
Jahresschwebstofffracht to/Jahr oder to/Jahr. $km^2$	transport solide annuel en suspension en T/an ou en T/an. $km^2$
Monat	mois
Monatswert	valeur mensuelle
Monatsschwebstoff-Fracht (to/Mo)	Transport solide mensuel en suspension en T/mois
Schwebstoff	suspension
Schwebstoffbelastung (SB) $g/m^3$	turbidité en $g/m^3$
Schwebstoffführung	débit solide en suspension
Spezifische Geschiebebelastung $\gamma_3$ (GB/q)	charge spécifique en matériaux grossiers
Spezifische Schwebstoffbelastung $\sigma_3$ (SB/q)	turbidité spécifique
Verhältnis	rapport
Wasserführung	débit liquide



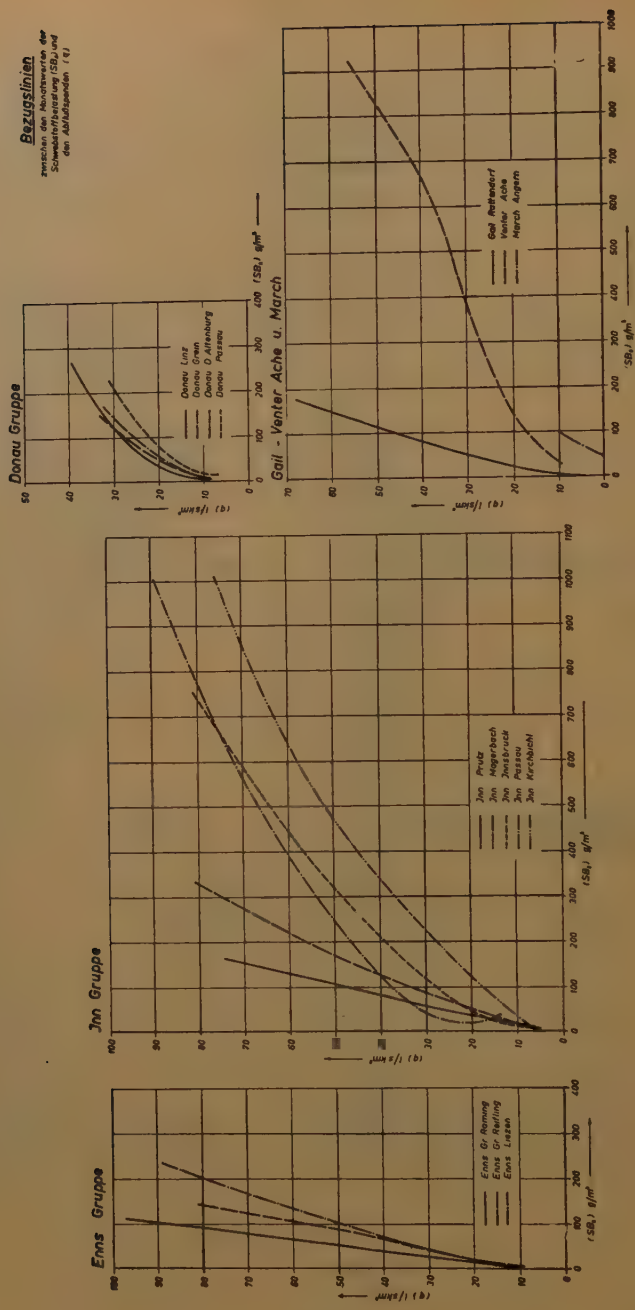
52,000

0007 00

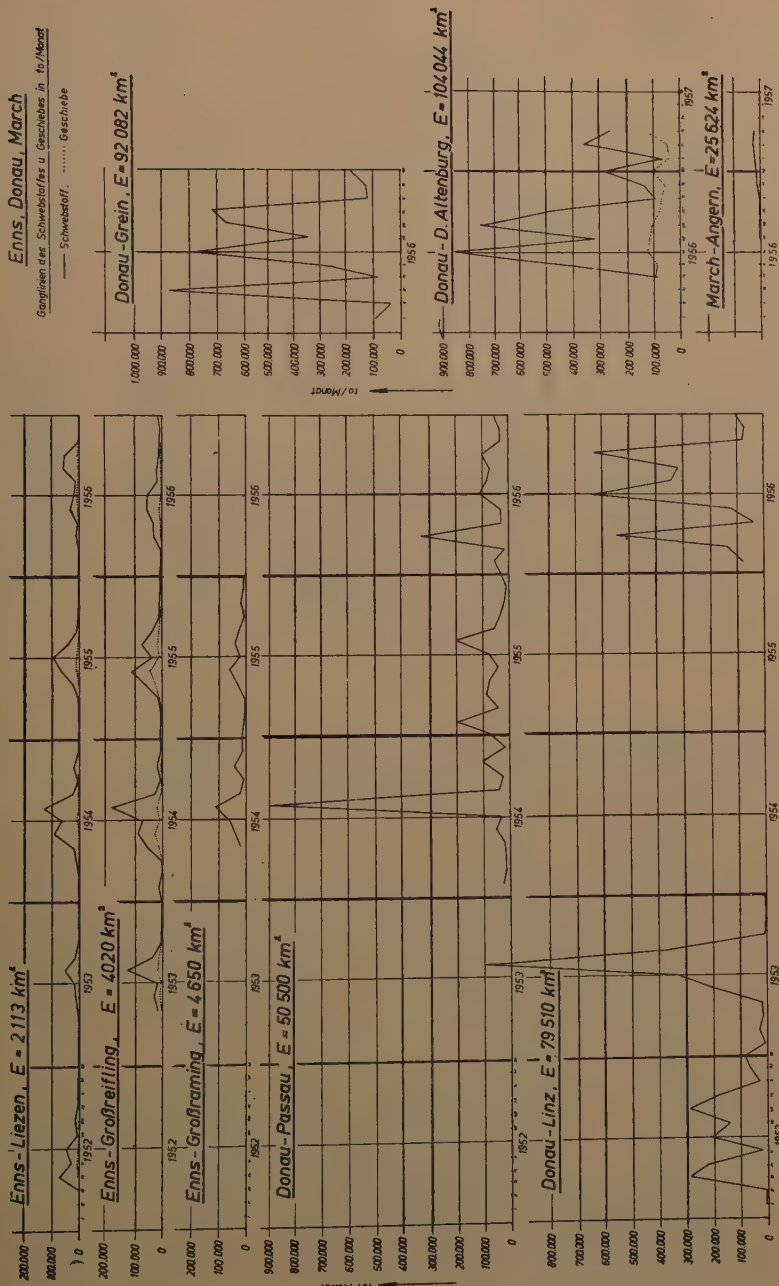


Graz, im Mai 1957

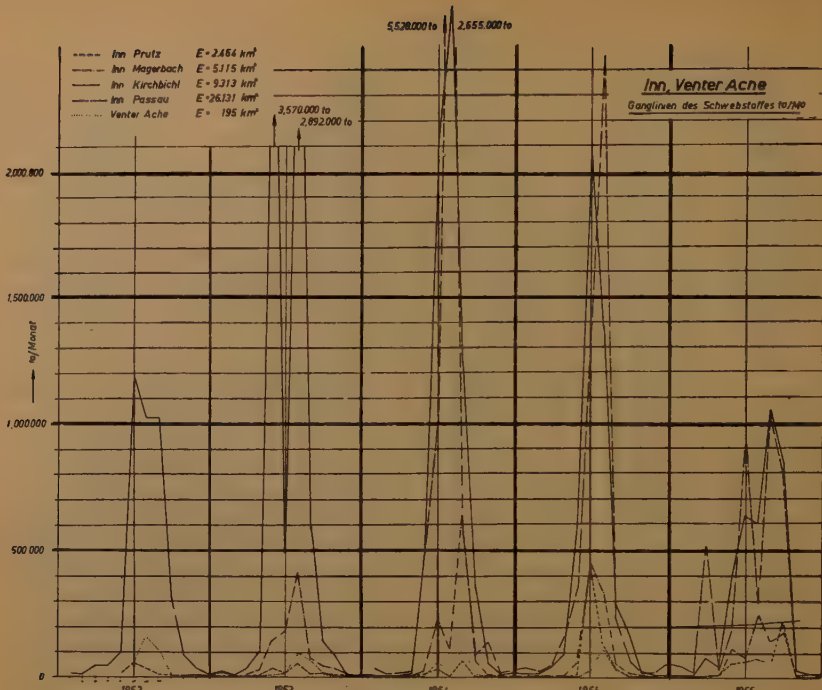
Blg. 1



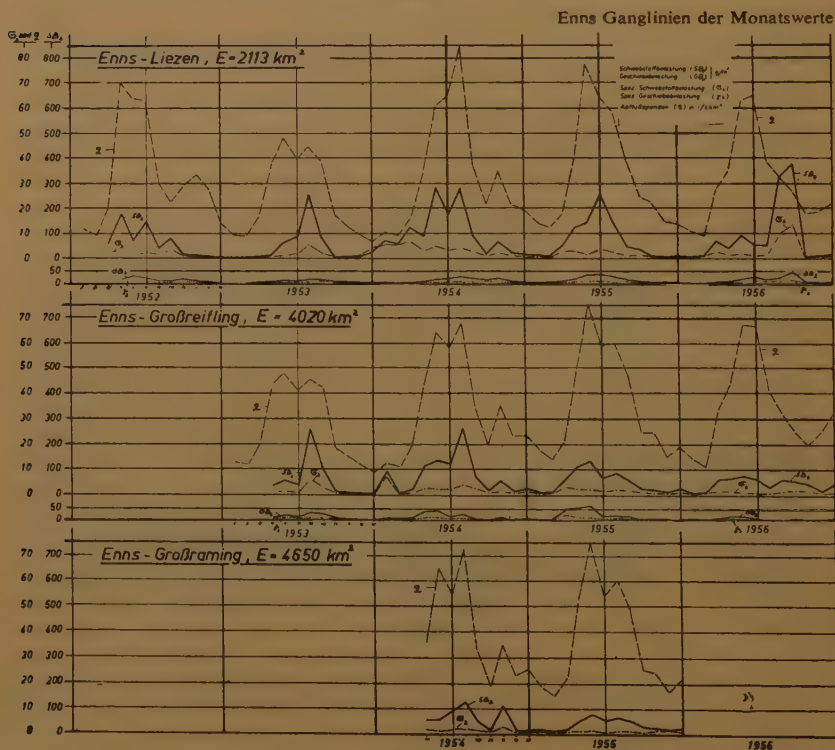
Blg. 2



Big. 3



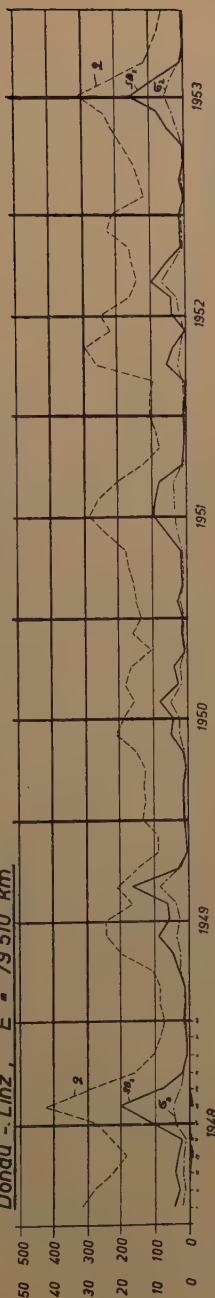
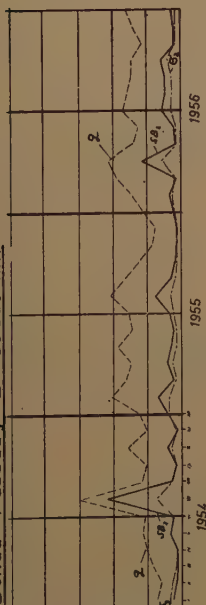
Blg. 4



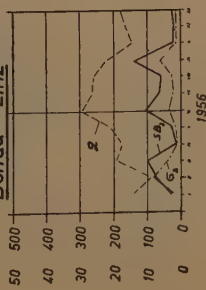
Blg. 5



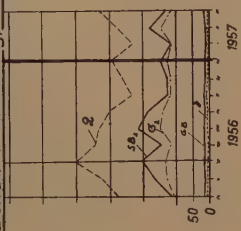
Sum of 25



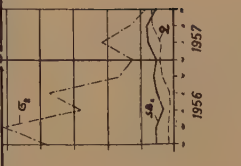
Donau-Grein, E - 92 082 km<sup>2</sup>



Donau - D. Altenburg, E. 104 044 km<sup>2</sup>



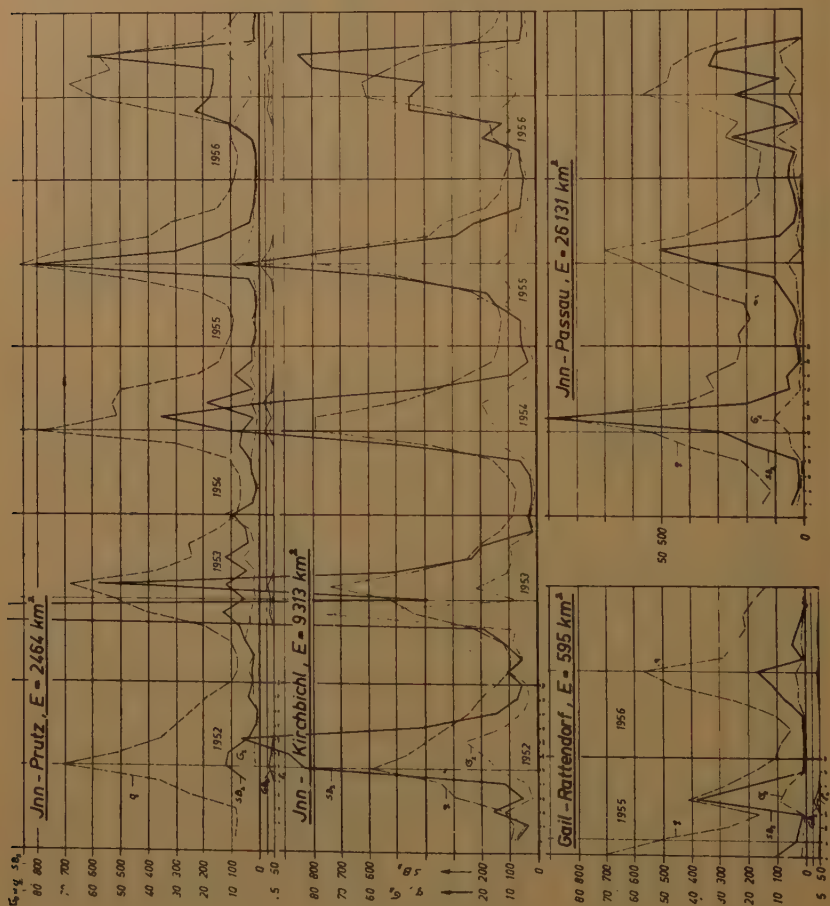
March - Angern E = 25 624 km<sup>2</sup>



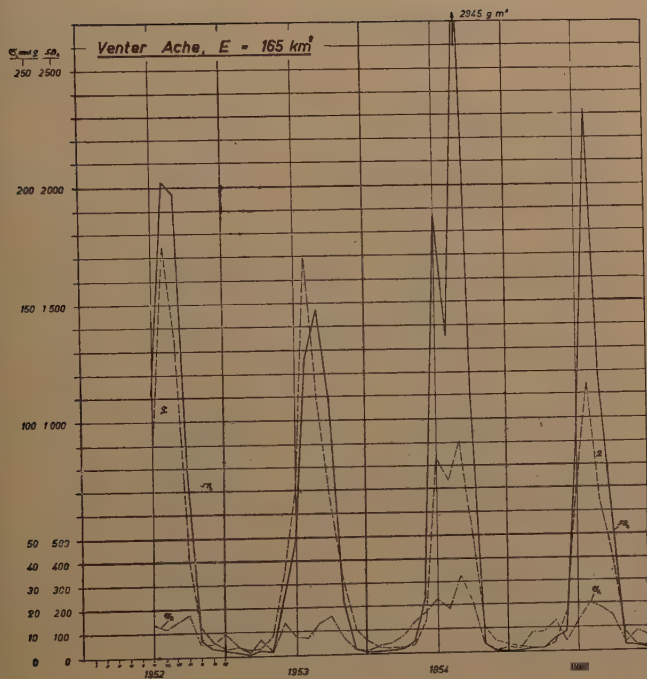
Blg. 6

Jnn, Gail und Salzach  
 Ganglinien der Monatswerte von  
 Schwefelstoffsbelastung ( $SB_1$ )  $\mu\text{g}/\text{m}^2$   
 Geschlechtsbelastung ( $GB_1$ )  $\mu\text{g}/\text{m}^2$   
 Spez. Schwefelstoffsbelastung ( $SB_2$ )  
 Spez. Geschlechtsbelastung ( $GB_2$ )  
 Anfallspenden ( $q$ ) in  $1/\text{s km}^2$

Graz, im Mai 1957



Blg. 7



### Venter Ache

Diagramm der Monatswerte von:  
 Schwefelstoffbelastung (SB) g/m<sup>2</sup>  
 Spez. Schwefelbelastung (G<sub>s</sub>)  
 Abflussspenden (Q) in l/s km<sup>2</sup>

Blg. 8

## Monatswerte der Wasser- u. Schwebstoffführung sowie Geschiebe

Jahr	Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Enns - Liezen, E = 2113 km <sup>2</sup>														
1952	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	23	20	42	148	135	133	63	49	61	70	57	31	(Mittel) 69
	l/s km <sup>2</sup> (q)	10,9	9,5	19,9	70,1	63,9	63,0	29,8	23,2	28,9	33,1	27,0	14,7	(Mittel) 32,8
	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	—	—	59,1	183,8	70,3	143,9	36,4	83,5	11,5	7,4	4,2	0,6	(SB <sub>2</sub> ) 80
	to/Mo × 1000	—	—	6,7	70,5	25,4	49,6	6,1	11,0	1,8	1,4	0,6	0,048	(Summe) 173,15
	(c) $\sigma_2 = SB_2 : q$	—	—	2,97	2,62	1,11	2,28	1,22	3,60	0,40	0,22	0,16	0,04	( $\sigma_2$ ) 2,4
	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	—	—	—	12,7	26,7	21,7	7,0	6,3	15,7	3,5	2,0	—	(GB <sub>2</sub> ) 13
1953	(d) to/Mo × 1000	—	—	—	4,9	9,7	7,5	1,2	0,83	2,5	0,66	0,30	—	(Summe) 27,59
	(e) $\gamma_2 = GB_2 : q$	—	—	—	0,18	0,42	0,34	0,23	0,27	0,54	0,11	0,07	—	( $\gamma_2$ ) 0,396
	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	21	19	35	79	101	84	94	82	37	28	20	14	(Mittel) 51
	l/s km <sup>2</sup> (q)	9,9	9,0	16,6	37,4	47,8	39,8	44,5	38,8	17,5	13,2	9,5	6,6	(Mittel) 24,2
	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	0,1	0,1	6,6	17,8	64,6	84,9	257,0	86,1	3,2	6,1	11,6	30,2	(SB <sub>2</sub> ) 78,5
	to/Mo × 1000	0,006	0,005	0,61	3,6	17,5	18,5	64,6	18,9	0,31	0,46	0,60	1,1	(Summe) 126,19
1953	(c) $\sigma_2 = SB_2 : q$	0,01	0,01	0,40	0,48	1,35	2,14	5,78	2,22	0,18	0,46	1,22	4,58	( $\sigma_2$ ) 3,24
	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	—	—	0,3	4,9	9,6	8,0	11,7	12,7	4,9	1,3	1,1	0,8	(GB <sub>2</sub> ) 7
	to/Mo × 1000	—	—	0,027	0,99	2,6	1,7	2,9	2,8	0,47	0,10	0,056	0,031	(Summe) 11,674
	$\gamma_2 = GB_2 : q$	—	—	0,02	0,13	0,20	0,20	0,26	0,33	0,28	0,10	0,12	0,12	( $\gamma_2$ ) 0,289
	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	21	19	35	79	101	84	94	82	37	28	20	14	(Mittel) 51
	l/s km <sup>2</sup> (q)	9,9	9,0	16,6	37,4	47,8	39,8	44,5	38,8	17,5	13,2	9,5	6,6	(Mittel) 24,2



Jahr	Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Enns - Liezen, E = 2113 km <sup>2</sup>														
1954	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	22	21	34	72	128	136	178	81	46	73	46	41	(Mittel) 73
	l/s km <sup>2</sup> (q)	10,4	9,9	16,1	34,1	60,8	64,5	84,4	38,4	21,8	34,6	21,8	19,4	(Mittel) 34,7
	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	72,4	60,4	124,1	93,0	284,3	181,0	285,0	95,3	14,7	71,3	22,2	13,2	(SB <sub>2</sub> ) 162,5
	to/Mo × 1000	4,3	3,1	11,3	17,3	97,6	63,6	136,0	20,7	1,8	13,9	2,6	1,4	(Summe) 373,6
	(c) σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	6,96	6,10	7,71	2,73	4,68	2,81	3,38	2,48	0,67	2,06	1,04	0,68	(σ <sub>2</sub> ) 4,68
1955	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	1,2	0,8	0,7	10,4	12,0	19,3	23,2	17,8	13,7	17,6	6,7	4,2	(GB <sub>2</sub> ) 14,9
	to/Mo × 1000	0,072	0,043	0,063	1,9	4,1	6,8	11,1	3,9	1,6	3,4	0,79	0,46	(Summe) 34,228
	(e) γ <sub>2</sub> = GB <sub>2</sub> : q	0,12	0,08	0,04	0,31	0,20	0,30	0,28	0,46	0,63	0,51	0,31	0,22	(γ <sub>2</sub> ) 0,429
	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	31	27	39	85	162	135	124	85	53	47	33	31	(Mittel) 71
	l/s km <sup>2</sup> (q)	14,6	12,8	18,4	40,3	76,8	64,0	58,8	40,3	25,1	22,3	15,6	14,6	(Mittel) 33,6
1955	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	12,3	6,8	55,5	127,8	145,8	263,5	144,0	48,3	37,6	9,0	2,4	6,3	(SB <sub>2</sub> ) 114,3
	to/Mo × 1000	1,03	0,44	5,8	28,1	63,1	92,0	47,8	11,0	5,1	1,1	0,20	0,52	(Summe) 256,19
	(c) σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	0,84	0,53	3,02	3,17	1,89	4,12	2,45	1,20	1,50	0,40	0,15	0,43	(σ <sub>2</sub> ) 3,41
	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	0,8	0,5	8,0	13,9	29,5	31,9	22,9	12,2	4,9	1,3	0,6	0,7	(GB <sub>2</sub> ) 17,6
	to/Mo × 1000	0,069	0,031	0,84	3,1	12,8	11,2	7,6	2,8	0,67	0,16	0,052	0,061	(Summe) 39,38
1955	(e) γ <sub>2</sub> = GB <sub>2</sub> : q	0,05	0,04	0,43	0,34	0,38	0,50	0,39	0,30	0,20	0,06	0,04	0,05	(γ <sub>2</sub> ) 0,524

(a) Wasserführung

(b) Bzw. Schwebstoffbelastung Schwebstofffracht

(c) Spez. Schwebstoffbelastung

(d) Bzw. Geschiebebelastung Geschiebefracht

(e) Spez. Geschiebebelastung

\* Anm. : Die Angaben über die Wasserführung sind zum Teil wegen der Veränderlichkeit der Pegelprofile noch um wenigstens Verbesserungsbefürftig !

Monatswerte der Wasser- u. Schwebstoffführung sowie Geschiebe

Jahr	Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
------	-------	---	----	-----	----	---	----	-----	------	----	---	----	-----	------

Forts. Enns - Liezen, E = 2113 km<sup>2</sup>

1956	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	24	20	58	74	133	136	82	69	57	39	40	47	(Mittel) 64,8
	l/s km <sup>2</sup> (q)	11,4	9,5	27,2	34,7	62,8	64,2	38,7	32,4	27,1	18,5	19,1	22,2	(Mittel) 30,6
	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	5,8	9,1	73,8	39,1	97,1	53,1	45,2	322,0	374,5	1,8	3,9	16,5	(SB <sub>2</sub> ) 97,6
	to/Mo × 1000	0,37	0,46	11,4	7,5	34,6	18,7	9,9	59,6	55,3	0,19	0,40	2,1	(Summe) 200,52
	(c) σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	0,51	0,96	2,72	1,13	1,54	0,83	1,17	9,94	13,81	0,10	0,20	0,74	(σ <sub>2</sub> ) 3,19
	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	0,1	0,1	4,8	4,9	15,0	25,8	14,5	22,2	48,5	1,4	1,7	1,1	(GB <sub>2</sub> ) 15,1
	to/Mo × 1000	0,005	0,003	0,74	0,94	5,4	9,1	3,2	4,1	7,1	0,14	0,17	0,13	(Summe) 31,028
	(e) γ <sub>2</sub> = GB <sub>2</sub> : q	0,01	0,01	0,18	0,14	0,24	0,40	0,37	0,68	1,79	0,08	0,09	0,05	(γ <sub>2</sub> ) 0,493

Enns - Großreifling, E = 4020 km<sup>2</sup>

1953	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	50	48	80	176	189	164	184	168	76	59	43	36	(Mittel) 106
	l/s km <sup>2</sup> (q)	12,4	11,9	19,9	43,8	47,0	40,8	45,7	41,8	18,9	14,7	10,7	8,9	(Mittel) 26,4
	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	—	—	—	29,4	56,6	36,2	263,8	96,3	11,5	7,0	4,9	5,7	(SB <sub>2</sub> ) 70
	to/Mo × 1000	—	—	—	13,4	28,6	15,4	130,2	43,5	2,3	1,1	0,54	0,54	(Summe) 235,58
	(c) σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	—	—	—	0,67	1,20	0,88	5,76	2,30	0,61	0,48	0,46	0,64	(σ <sub>2</sub> ) 2,7
	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	—	—	—	5,9	18,6	9,6	25,8	21,6	0,06	0,006	0,018	0,02	(GB <sub>2</sub> ) 11
	to/Mo × 1000	—	—	—	2,7	9,4	4,1	12,8	9,8	0,012	0,001	0,002	0,002	(Summe) 38,817
	(e) γ <sub>2</sub> = GB <sub>2</sub> : q	—	—	—	0,135	0,396	0,235	0,565	0,516	0,003	0,0004	0,0017	0,0022	(γ <sub>2</sub> ) 0,416

Jahr	Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Enns - Großreifling, E = 4020 km <sup>2</sup>														
1954	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	50	43	80	171	259	235	274	142	81	142	93	95	(Mittel) 139
	l/s km <sup>2</sup> (q)	12,4	10,7	19,9	42,6	64,5	58,5	68,1	35,4	20,2	35,4	23,2	23,7	(Mittel) 34,5
	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	92,5	6,7	19,8	112,7	132,8	121,5	265,0	76,5	22,5	56,5	15,4	27,4	(SB <sub>2</sub> ) 112,8
	to/Mo × 1000	12,4	0,7	4,3	50,1	92,1	74,0	194,4	29,2	4,7	21,4	3,7	7,0	(Summe) 494,0
	(c) $\sigma_2 = SB_2 : q$	7,45	0,63	1,00	2,64	2,06	2,08	3,89	2,16	1,11	1,59	0,66	1,16	( $\sigma_2$ ) 3,27
	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	5,4	1,7	4,3	32,6	36,3	16,4	19,9	3,3	0,22	11,8	0,62	4,9	(GB <sub>2</sub> ) 16,7
	to/Mo × 1000	0,7	0,018	0,9	14,5	25,2	10,0	14,6	1,3	0,047	4,5	0,15	1,3	(Summe) 73,215
	(e) $\gamma_2 = GB_2 : q$	0,44	0,16	0,22	0,77	0,56	0,28	0,29	0,09	0,011	0,33	0,027	0,21	( $\gamma_2$ ) 0,484
1955	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	73	58	85	195	304	237	239	191	102	101	66	76	(Mittel) 144
	l/s km <sup>2</sup> (q)	18,2	14,4	21,2	48,6	75,8	59,0	59,7	47,5	25,4	25,2	16,4	18,9	(Mittel) 35,9
	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	7,9	8,6	66,9	108,8	130,2	72,5	88,6	65,2	24,2	20,4	10,4	24,8	(SB <sub>2</sub> ) 76,0
	to/Mo × 1000	1,6	1,2	15,2	55,0	106,1	44,4	69,6	33,3	6,4	5,5	1,8	5,1	(Summe) 345,2
	(c) $\sigma_2 = SB_2 : q$	0,44	0,60	3,15	2,24	1,72	1,22	1,48	1,37	0,95	0,81	0,64	1,31	( $\sigma_2$ ) 2,115
	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	0,39	0,093	46,5	49,3	58,5	16,4	17,0	16,2	0,90	1,34	0,26	1,06	(GB <sub>2</sub> ) 25,5
	to/Mo × 1000	0,078	0,013	10,6	24,9	47,5	10,0	13,4	8,3	0,24	0,36	0,045	0,22	(Summe) 115,656
	(e) $\gamma_2 = GB_2 : q$	0,021	0,0065	2,19	1,01	0,77	0,28	0,28	0,34	0,036	0,053	0,016	0,056	( $\gamma_2$ ) 0,71

(a) Wasserrführung

(b) Bzw. Schwebstoffbelastung Schwebstofffracht

(c) Spez. Schwebstoffbelastung

(d) Bzw. Geschiebebelastung Geschiebefracht

(e) Spez. Geschiebebelastung





Inn - Prutz, E = 2464 km<sup>2</sup>

Jahr	Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
1954	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	17	16	18	27	73	195	128	132	122	56	35	30	(Mittel) 71
	l/s km <sup>2</sup> (q)	6,9	6,5	7,3	11,0	29,6	79,1	51,9	53,5	49,5	22,7	14,2	12,2	(Mittel) 28,7
	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	17,2	5,5	20,6	34,1	70,6	59,7	17,8	183,7	20,2	86,7	19,7	21,3	(SB <sub>2</sub> ) 63,70
	to/Mo × 1000	0,76	0,21	1,00	2,42	13,9	30,2	6,1	65,1	6,4	12,9	1,8	1,7	(Summe) 142,49
	(c) σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	2,49	0,85	2,82	3,10	2,38	0,75	0,34	3,43	0,41	3,81	1,39	1,75	(σ <sub>2</sub> ) 2,22
	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	—	—	—	—	—	36,1	2,2	32,9	2,6	—	—	—	(GB <sub>2</sub> ) 14
	to/Mo × 1000	—	—	—	—	—	18,24	0,74	11,62	0,82	—	—	—	(Summe) 31,42
	(e) γ <sub>2</sub> = GB <sub>2</sub> : q	—	—	—	—	—	0,46	0,04	0,63	0,05	—	—	—	(γ <sub>2</sub> ) 0,487
1955	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	24,9	24,1	27,7	51,0	118,1	212,2	171,9	97,0	79,6	37,9	27,7	22,2	(Mittel) 75
	l/s km <sup>2</sup> (q)	10,1	9,8	11,2	20,6	48,0	86,0	70,0	39,4	32,2	15,4	11,2	9,0	(Mittel) 30,2
	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	9,5	10,0	6,4	13,6	33,5	817,0	284,0	135,0	33,0	21,8	12,3	6,5	(SB <sub>2</sub> ) 270,5
	to/Mo × 1000	0,63	0,58	0,48	1,81	10,53	450,14	130,29	35,08	6,81	2,21	0,88	0,39	(Summe) 639,83
	(c) σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	0,94	1,02	0,57	0,66	0,70	9,42	4,05	3,43	1,02	1,42	1,10	0,72	(σ <sub>2</sub> ) 8,96
	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	—	—	—	—	1,7	49,1	15,9	—	—	—	—	—	(GB <sub>2</sub> ) 15
	to/Mo × 1000	—	—	—	—	0,55	27,02	7,34	—	—	—	—	—	(Summe) 34,91
	(e) γ <sub>2</sub> = GB <sub>2</sub> : q	—	—	—	—	0,04	0,57	0,23	—	—	—	—	—	(γ <sub>2</sub> ) 0,496

(a) Wasserführung

(b) Bzw. Schwebstoffbelastung Schwebstofffracht

(c) Spez. Schwebstoffbelastung

(d) Bzw. Geschiebebelastung Geschiebefracht

(e) Spez. Geschiebebelastung

## Monatswerte der Wasser- u. Schwebstoffführung sowie Geschiebe

Jahr	Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Forts. Inn - Prutz, E = 2464 km <sup>2</sup>														
1956	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	21	19	24	25	89	143	168	132	142	46	27	19	(Mittel) 71
	l/s km <sup>2</sup> (q)	8,5	7,7	9,7	10,2	36,1	58,0	68,1	53,5	57,7	18,6	11,0	7,7	(Mittel) 28,9
	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	5,0	5,7	23,4	93,1	228,3	171,3	161,6	159,2	609,7	16,7	12,2	7,5	(SB <sub>2</sub> ) 215,0
	to/Mo × 1000	0,28	0,27	1,5	6,0	54,3	63,4	72,9	56,1	224,1	2,0	0,85	0,39	(Summe) 482,09
	(c) σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	0,59	0,74	2,41	9,11	6,31	2,94	2,37	2,97	10,6	0,90	1,11	0,97	(σ <sub>2</sub> ) 7,41
	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	—	—	—	—	13,1	9,8	16,2	8,1	28,6	—	—	—	(GB <sub>2</sub> ) 12
	to/Mo × 1000	—	—	—	—	3,11	3,62	7,31	2,88	10,50	—	—	—	(Summe) 27,42
	(e) γ <sub>2</sub> = GB <sub>2</sub> : q	—	—	—	—	0,36	0,17	0,24	0,15	0,50	—	—	—	(γ <sub>2</sub> ) 0,415
Jnn - Magerbach, E = 5119 km <sup>2</sup>														
1953	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	39	33	44	96	229	303	397	228	130	114	60	36	(Mittel) 142
	l/s km <sup>2</sup> (q)	7,6	6,4	8,6	18,8	44,7	59,1	77,6	44,5	25,4	22,3	11,7	7,0	(Mittel) 27,8
	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	—	—	77,0	111,3	239,4	232,6	408,3	126,3	139,2	113,1	91,4	37,3	(SB <sub>2</sub> ) 202,5
	to/Mo × 1000	—	—	9,0	27,6	146,8	182,8	422,7	77,3	46,9	34,6	14,3	3,5	(Summe) 965,5
	(c) σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	—	—	8,95	5,91	5,36	3,94	5,27	2,84	5,48	5,08	7,82	5,32	(σ <sub>2</sub> ) 7,29
	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	—	—	—	—	16,1	11,9	33,1	1,2	—	—	—	—	(GB <sub>2</sub> ) 12
	to/Mo × 1000	—	—	—	—	9,88	9,37	35,11	0,76	—	—	—	—	(Summe) 55,12
	(e) γ <sub>2</sub> = GB <sub>2</sub> : q	—	—	—	—	0,36	0,20	0,43	0,03	—	—	—	—	(γ <sub>2</sub> ) 0,432

Jahr	Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Inn - Magerbach, E = 5119 km <sup>2</sup>														
1954	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	29	28	33	51	161	406	319	279	198	104	61	43	(Mittel) 143
	l/s km <sup>2</sup> (q)	5,7	5,5	6,4	10,0	31,4	79,2	62,2	54,4	38,7	20,3	11,9	8,4	(Mittel) 27,9
	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	1,8	17,6	3,6	17,2	61,6	219,0	124,5	883,6	116,2	3,1	0,8	6,6	(SB <sub>2</sub> ) 241,5
	to/Mo × 1000	0,14	1,20	0,32	2,29	26,5	230,5	106,3	659,9	59,7	0,89	0,12	0,75	(Summe) 1088,61
	(c) σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	0,32	3,20	0,56	1,72	1,96	2,77	2,01	16,25	3,01	0,15	0,07	0,79	(σ <sub>2</sub> ) 8,66
1955	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	—	—	—	—	0,4	48,2	8,0	24,5	0,2	—	—	—	(GB <sub>2</sub> ) 16
	to/Mo × 1000	—	—	—	—	0,17	48,25	6,80	18,31	0,12	—	—	—	(Summe) 73,65
	(e) γ <sub>2</sub> = GB <sub>2</sub> : q	—	—	—	—	0,01	0,61	0,13	0,45	0,01	—	—	—	(γ <sub>2</sub> ) 0,573
	(a) m <sup>3</sup> /s (Q)	41	35	44	90	237	440	411	206	164	77	46	35	(Mittel) 152
	l/s km <sup>2</sup> (q)	8,0	6,9	8,5	17,5	46,4	86,0	80,4	40,2	32,1	14,9	9,0	6,8	(Mittel) 29,7
1955	(b) g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	7,1	0,4	8,3	14,1	96,4	401,0	313,0	95,4	36,3	39,2	5,1	4,9	(SB <sub>2</sub> ) 197,0
	to/Mo × 1000	0,78	0,03	0,97	3,28	61,2	457,8	344,3	52,6	15,5	8,0	0,60	0,45	(Summe) 945,51
	(c) σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	0,89	0,06	0,98	0,81	2,08	4,67	3,89	2,37	1,13	2,63	0,57	0,72	(σ <sub>2</sub> ) 6,63
	(d) g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	—	—	—	—	1,1	59,6	39,3	0,2	0,03	—	—	—	(GB <sub>2</sub> ) 23
	to/Mo × 1000	—	—	—	—	0,73	68,13	43,31	0,092	0,012	—	—	—	(Summe) 112,27
1955	(e) γ <sub>2</sub> = GB <sub>2</sub> : q	—	—	—	—	0,02	0,69	0,49	0,01	0,001	—	—	—	(γ <sub>2</sub> ) 0,774

(a) Wasserführung

(b) Bzw. Schwebstoffbelastung Schwebstofffracht

(c) Spez. Schwebstoffbelastung

(d) Bzw. Geschiebebelastung Geschiebefracht

(e) Spez. Geschiebebelastung

## Monatswerte der Wasser- u. Schwebstoffführung sowie Geschiebe

Jahr	Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Forts. Inn - Magerbach, E = 5119 km <sup>2</sup>														
1956	(a)	m <sup>3</sup> /s (Q)	31	28	37	49	183	267	367	293	84	40	27	(Mittel) 137
		l/s km <sup>2</sup> (q)	6,1	5,5	7,2	9,6	35,7	52,1	71,7	57,1	16,4	7,8	5,3	(Mittel) 26,7
	(b)	g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	12,6	12,5	20,1	5,8	225,8	109,1	248,1	179,8	22,4	105,2	1,6	(SB <sub>2</sub> ) 178,0
		to/Mo × 1000	1,03	0,87	2,00	0,73	110,9	75,4	246,6	141,2	174,2	13,45	0,12	(Summe) 771,57
	(c)	σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	2,07	2,27	2,79	0,60	6,32	2,09	3,46	3,15	6,02	1,37	0,30	(σ <sub>2</sub> ) 4,85
	(d)	g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	—	—	—	—	16,3	15,8	28,3	11,9	6,3	—	—	(GB <sub>2</sub> ) 14
		to/Mo × 1000	—	—	—	—	7,85	10,97	27,87	9,37	3,93	—	—	(Summe) 59,99
	(e)	γ <sub>2</sub> = GB <sub>2</sub> : q	—	—	—	—	0,46	0,30	0,39	0,21	0,14	—	—	(γ <sub>2</sub> ) 0,524
Inn - Kirchbühl, E = 9313 km <sup>2</sup>														
1952	(a)	m <sup>3</sup> /s (Q)	89	79	115	274	319	550	437	365	301	226	190	(Mittel) 259
		l/s km <sup>2</sup> (q)	9,6	8,5	12,4	29,4	34,2	59,0	46,8	39,2	32,3	24,2	20,4	(Mittel) 27,5
	(b)	g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	71,6	34,0	151,6	64,7	117,0	828,0	887,0	1050,0	403,6	148,9	67,6	(SB <sub>2</sub> ) 478,0
		to/Mo × 1000	17,1	6,7	46,7	46,0	100,0	1180,0	1032,3	1025,9	314,9	91,5	33,3	(Summe) 3912,0
	(c)	σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	7,44	4,00	12,21	2,20	3,43	14,05	18,95	26,8	12,47	6,16	3,31	(σ <sub>2</sub> ) 17,37
	(a)	m <sup>3</sup> /s (Q)	94	87	120	211	407	489	690	426	239	189	119	(Mittel) 263
	(b)	l/s km <sup>2</sup> (q)	10,1	9,4	12,9	22,6	43,7	52,5	74,1	45,7	25,6	20,3	12,8	(Mittel) 28,2
	(b)	g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	104,2	47,3	115,2	187,5	3278,0	393,3	1564,0	508,8	228,8	196,0	11,6	(SB <sub>2</sub> ) 962,0
1953		to/Mo × 1000	26,2	9,9	37,0	102,7	3570,3	498,1	2891,8	580,6	141,7	99,4	3,5	(Summe) 7968,5
	(c)	σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	10,32	5,02	8,91	8,29	75,0	7,48	21,1	11,13	8,94	9,67	0,91	(σ <sub>2</sub> ) 34,4



Jahr	Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Inn - Kirchbichl, E = 9313 km <sup>2</sup>														
1954	(a)	m <sup>3</sup> /s (Q)	79	71	98	151	337	737	736	465	335	230	154	124
		l/s km <sup>2</sup> (q)	8,5	7,6	10,5	16,2	36,2	79,0	79,0	49,9	36,0	24,7	16,5	13,3
	(b)	g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	16,1	11,2	19,2	46,5	475,4	1109,0	1347,0	996,0	411,4	92,4	27,4	45,9
		to/Mo × 1000	3,4	1,9	5,1	18,2	428,6	2119,4	2655,1	1242,0	357,2	57,0	11,0	15,2
	(c)	σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	1,90	1,48	1,83	2,87	13,13	14,03	17,1	19,95	11,40	3,74	1,66	3,45
														(σ <sub>2</sub> ) 23,8
1955	(a)	m <sup>3</sup> /s (Q)	122	112	120	202	427	732	736	361	306	173	126	106
		l/s km <sup>2</sup> (q)	13,1	12,0	12,9	21,6	45,8	78,6	79,0	38,7	32,9	18,6	13,5	11,4
	(b)	g/m <sup>3</sup> (SB <sub>1</sub> )	54,0	55,4	138,0	187,5	530,0	1085,0	705,0	294,0	224,0	57,3	45,3	38,7
		to/Mo × 1000	16,9	15,0	44,3	99,4	604,9	2065,1	1392,6	284,2	180,1	26,2	14,4	11,0
	(c)	σ = SB : q	4,12	4,55	10,70	8,66	11,55	13,80	8,93	7,59	6,81	3,08	3,36	3,40
														(σ) 16,3
1956	(a)	m <sup>3</sup> /s (Q)	92	79	145	155	331	559	576	478	387	194	137	117
		l/s km <sup>2</sup> (q)	9,9	8,5	15,6	16,6	35,5	60,0	61,9	51,3	41,5	20,8	14,7	12,6
	(b)	g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	44,3	44,2	195,9	114,7	456,3	647,3	393,8	799,4	847,7	59,4	48,2	47,7
		to/Mo × 1000	10,9	8,8	75,9	46,0	412,3	647,7	607,5	1058,0	851,5	30,4	17,1	14,9
	(c)	σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	4,48	5,20	12,56	6,91	12,83	7,45	6,38	15,60	20,45	2,86	3,28	3,79
														(σ <sub>2</sub> ) 17,2

(a) Wasserführung

(b) Bzw. Schwebstoffbelastung Schwebstofffracht

(c) Spez. Schwebstoffbelastung

(d) Bzw. Geschiebebelastung Geschiebefracht

(e) Spez. Geschiebebelastung

## Monatswerte der Wasser- u. Schwebstoffführung sowie Geschiebe

Jahr	Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Fortsetzung Venter Ache, E = 165 km <sup>2</sup>														
(a)	m <sup>3</sup> /s (Q)	0,42	0,32	0,33	0,66	2,82	11,54	18,94	10,61	6,76	1,33	0,48	0,26	(Mittel) 4,53
	l/s km <sup>2</sup> (q)	2,54	1,94	2,00	4,00	17,10	70,00	114,90	64,30	41,00	8,06	2,91	1,58	(Mittel) 27,5
(b)	g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	4,6	16,4	17,5	53,9	81,8	926,3	2320,0	1183,0	616,0	27,1	24,6	10,3	(SB <sub>2</sub> ) 1326,0
	to/Mo × 1000	0,005	0,013	0,015	0,092	0,620	27,70	117,50	33,66	10,78	0,096	0,032	0,007	(Summe) 190,52
(c)	σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q	1,81	8,45	8,75	13,47	4,78	13,20	20,20	18,40	15,02	3,36	8,45	6,51	(σ <sub>2</sub> ) 48,3
Gail - Rattendorf, E = 595 km <sup>2</sup>														
(a)	m <sup>3</sup> /s (Q)					41,7	30,0	16,5	9,8	24,7	17,2	10,3	6,1	
	l/s km <sup>2</sup> (q)					70,2	50,4	27,8	16,5	41,5	29,0	17,3	10,3	
(b)	g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )					102,0	36,9	21,8	9,6	384,0	189,0	4,8	2,0	
	to/Mo × 1000					11,41	2,87	0,97	0,25	24,48	8,70	0,13	0,033	
(c)	σ <sub>2</sub> = SB <sub>2</sub> : q					1,45	0,73	0,78	0,58	9,30	6,50	0,28	0,19	
(d)	g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )					7,80	0,88	0,41	—	22,1	2,53	—	—	
	to/Mo × 1000					0,87	0,07	0,02	—	1,41	0,12	—	—	
(e)	γ <sub>2</sub> = GB <sub>2</sub> : q					0,11	0,014	0,015	—	0,53	0,087	—	—	

Jahr	Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Gail - Rattendorf, E = 595 km <sup>2</sup>														
1956	(a)	m <sup>3</sup> /s (Q)	5,3	3,1	6,4	15,7	27,8	34,3	17,5	14,4	12,5	12,9	11,0	8,6 (Mittel) 14,2
		l/s km <sup>2</sup> (q)	8,9	5,2	10,8	26,4	46,9	57,7	29,4	24,2	21,0	21,7	18,5	14,5 (Mittel) 23,8
	(b)	g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	1,3	2,14	10,5	72,3	104,6	170,0	10,1	42,8	28,8	10,3	0,93	0,91 (SB <sub>2</sub> ) 65,8
		to/Mo × 1000	0,019	0,017	0,18	2,94	7,82	15,14	0,48	1,66	0,94	0,36	0,026	0,021 (Summe) 29,58
	(c)	σ <sub>a</sub> = SB <sub>2</sub> : q	0,15	0,41	0,97	2,74	2,23	2,94	0,34	1,77	1,37	0,47	0,05	0,06 (σ <sub>a</sub> ) 2,77
	(d)	g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	—	—	—	0,34	5,08	5,99	—	0,53	1,65	—	—	— (GB <sub>2</sub> ) 2
		to/Mo × 1000	—	—	—	0,014	0,38	0,53	—	0,020	0,054	—	—	— (Summe) 0,998
	(e)	γ <sub>a</sub> = GB <sub>2</sub> : q	—	—	—	0,013	0,108	0,104	—	0,022	0,078	—	—	— (γ <sub>a</sub> ) 0,084

Salzach - Gries, E = 1167 km<sup>2</sup>

1955	(a)	m <sup>3</sup> /s (Q)	177	178	89	59	32							
		l/s km <sup>2</sup> (q)	151,5	152,2	76,1	50,5	27,4							
	(b)	g/m <sup>3</sup> (SB <sub>2</sub> )	207	187	159	99	26							
		to/Mo × 1000	94,7	89,0	38,1	15,2	2,2							wurde nicht gemessen
	(c)	σ <sub>a</sub> = SB <sub>2</sub> : q	1,36	1,23	2,09	1,96	0,95							
	(d)	g/m <sup>3</sup> (GB <sub>2</sub> )	40	48	48	58	69							
		to/Mo × 1000	18,3	22,8	11,6	8,9	5,9							
	(e)	γ <sub>a</sub> = GB <sub>2</sub> : q	0,26	0,32	0,63	1,15	2,52							

- (a) Wasserführung  
 (b) Bzw. Schwebstoffbelastung Schwebstofffracht  
 (c) Spez. Schwebstoffbelastung  
 (d) Bzw. Geschiebebelastung Geschiebefracht  
 (e) Spez. Geschiebebelastung

# CONSIDÉRATIONS SUR LA VARIATION DE LA SÉDIMENTATION DANS UN FLEUVE A MARÉE

G. TISON jr.  
Université de Gand, Belgique

## RÉSUMÉ

L'auteur recherche les causes de l'augmentation de la sédimentation dans la partie supérieure du domaine soumis à marée d'un certain fleuve.

Une de ces causes semble être la réduction de la durée du courant de flot alors que cette réduction n'est pas accompagnée d'une diminution du volume de flot. Il en résulte un accroissement des vitesses du courant de flot, vitesses qui sont devenues notablement supérieures en moyenne aux vitesses des courants de jusant. Il a dû en résulter un arrêt et même un refoulement des alluvions vers l'amont de la région soumise à marée.

1. La carte ci-contre (figure 1) donne le tracé de l'Escaut maritime et de ses principaux affluents. La marée se propage dans le fleuve de Flessingue à Gand : encore est elle arrêtée à l'aval de cette dernière ville par le barrage de Gentbrugge. La marée se fait d'ailleurs sentir sur la plupart des affluents de cette partie maritime du fleuve : le Rupel et la partie aval des rivières qui le constituent, la Nèthe, la Dyle, la Senne, ainsi que sur la Durme où elle exerce son influence bien en amont de Lokeren.

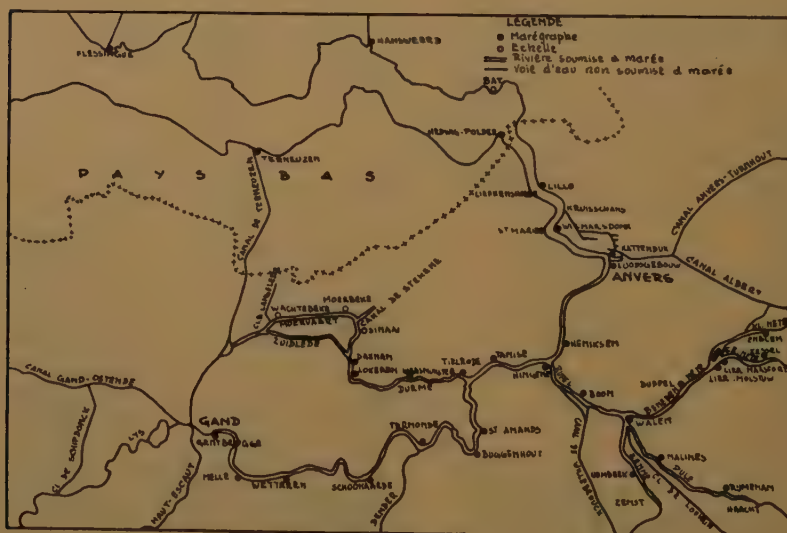


Fig. 1

Depuis vingt ans, peut-être même depuis plus longtemps, on constate une aggravation de l'envasement ou de l'ensablement de la partie amont du système scaldésien soumis à marée et notamment de l'Escaut entre l'embouchure du Rupel et Gentbrugge jusqu'où se fait sentir la marée. Sur la Durme, on se plaint de la même

recrudescence de la tendance à la formation des atterrissements. On pourrait se demander si les sédiments en question ne proviennent pas d'une érosion continentale plus prononcée.

2. Le phénomène pose d'ailleurs de très graves problèmes et on s'est préoccupé de ses causes.

On a voulu trouver la raison de l'augmentation des dépôts dans une diminution du débit d'amont de l'Escaut et de certains de ses affluents.

Pour la Durme, notamment, il est certain que la réalisation du canal de Gand à Terneuzen a enlevé à cette rivière la partie amont de son bassin, c'est-à-dire celle se trouvant sur la rive Ouest du canal. On a avancé des chiffres et on a estimé que le débit d'amont moyen de la Durme a été réduit de moitié de ce fait.

RIVIERE	DEBIT D'AMONT						Année moyenne de la décade 1920-1930
	1949		1950		1951		
	m <sup>3</sup> /sec	% débit total d'amont	m <sup>3</sup> /sec	% débit total d'amont	m <sup>3</sup> /sec	% débit total d'amont	m <sup>3</sup> /sec
Escaut supérieur + Lys	8,47	20	25,75	33	38,98	34	52
Dendre	4,24	10	7,75	10	13,14	11	13
Durme et bassin latéral	2,62	6	3,87	5	6,66	6	4
Apports d'amont en amont du Rupel	15,33	36	37,37	48	58,78	51	69
Senne	5,84	14	9,10	12	11,99	10	11
Dyle	11,30	27	14,00	18	24,68	21	25
Petite Nèthe	6,04	15	10,15	13	10,88	9	8,5
Grande Nèthe	2,66	6	5,37	7	7,04	6	8
Rupel et Nèthe inférieure	1,81	3	1,93	2	3,29	3	5,5
Rupel	27,15	64	40,55	52	57,88	49	58
Total	42,48	100	77,92	100	116,26	100	127
Rapport Escaut amont du Rupel	0,545		0,92		1,02		1,19
Rupel							



Au cours du siècle dernier, le débit de l'Escaut supérieur au sortir de Gand a subi diverses modifications. Ce débit est constitué par la somme des débits de l'Escaut supérieur proprement dit et de la Lys qui rejoint l'Escaut à Gand. Des quantités d'eau notables sont empruntées à ces rivières pour l'alimentation des canaux des Flandres (plus de 5 m<sup>3</sup>/sec) et pour celle du canal de Terneuzen (sensiblement une quantité du même ordre). Ajoutons que ce dernier canal est utilisé pour l'évacuation des crues de l'Escaut. Tous ces emprunts ne datent pas de ce siècle, mais il semble fort possible que l'alimentation des canaux a exigé des quantités d'eau allant en croissant avec le temps.

De plus la Lys a subi au siècle dernier une modification assez importante. Un canal emprunte une partie notable de son débit et l'envoie directement à la mer. Il en résulte une réduction assez sensible du débit entrant dans l'Escaut maritime.

En résumé, les débits d'amont arrivant à l'Escaut maritime ont subi des réductions très importantes, mais le fait date surtout du siècle dernier : l'action du canal de Terneuzen par exemple remonte à plus de 125 ans. La plupart des modifications signalées sont donc bien antérieures à l'accroissement des atterrissements signalé et si l'action des changements de débit en question n'a peut-être pas été immédiate, il paraît difficile d'y voir la cause unique du phénomène qui nous occupe. N'oublions cependant pas que certaines réductions de débits d'amont allant à l'Escaut maritime ont pu être accentuées au cours de ce siècle.

Le tableau précédent donne quelques indications relatives aux apports d'amont des diverses rivières alimentant l'Escaut maritime pour des années plutôt sèches et pour une année normale. La faible part de l'Escaut supérieur s'explique par les emprunts dont il vient d'être question.

Ce tableau montre l'importance des prélèvements faits sur l'Escaut en amont du confluent du Rupel : ces prélèvements servent particulièrement à l'alimentation de canaux dont les pertes sont surtout celles dues aux éclusages et de ce fait les quantités empruntées sont quasi les mêmes pour trois années successives au cours desquelles la navigation fut sensiblement la même. Au cours d'une année sèche (1949), les apports d'amont en amont du Rupel sont relativement beaucoup plus influencés par les prélèvements qu'au cours d'une année normale : c'est ce que l'on peut déduire du tableau ci-dessus où l'on voit le rapport des apports en amont du Rupel à l'apport du Rupel passer de 0,545 en 1949 à 1,19 lors d'une année moyenne.

3. Les variations de débit d'amont ne peuvent donc guère être mises en cause. Nous nous sommes demandés si le débit solide d'amont n'avait pas augmenté dans des proportions pouvant expliquer le phénomène et si par conséquent l'érosion continentale n'a pas subi une recrudescence qu'il conviendrait alors d'expliquer. Il est malheureusement difficile d'avoir une idée très nette à ce sujet, car on ne dispose que de très peu de données au sujet de ce débit solide.

Les seules indications qu'on possède sont les mesures récentes faites par le Professeur TISON <sup>(1)</sup> et il n'existe rien qui, dans le passé, puisse servir de référence pour se rendre compte si des variations sont intervenues. Ces données récentes semblent cependant indiquer que le débit solide de l'Escaut supérieur est relativement faible et dès lors, il devient difficile de mettre en cause une augmentation présente de ce débit solide pour expliquer l'augmentation des atterrissements dans la partie amont de l'Escaut maritime.

Nous n'avons parlé que des débits solides venant de l'Escaut supérieur. Remarquons cependant que certains autres affluents de l'Escaut maritime ont une pente assez forte et traversent des régions où l'érosion n'est vraisemblablement pas négligeable. Certaines de ces rivières, la Dyle et la Senne par exemple, ont sans doute un débit solide relativement supérieur à l'Escaut. Toutefois, il n'y a aucune raison de croire que ce débit solide s'est modifié au cours des cinquante dernières années.

4. On peut se demander si certaines conditions d'écoulement ne se sont pas modifiées dans la partie maritime de la rivière. On peut notamment assurer que le niveau moyen de la mer à l'embouchure de l'Escaut a continuellement augmenté, par rapport aux terrains voisins, au cours de la période qui nous intéresse.

Vekemans <sup>(2)</sup> cite le chiffre de 12 à 14 centimètres de 1890 à 1940. Nous reproduisons d'autre part, ci-dessous, des données empruntées aux publications 5, 10 et 13 de l'Association Internationale d'Océanographie Physique (Variation of Sea Level) et se rapportant à des stations de la côte Nord-Ouest de l'Europe.

Stations	Hausse annuelle en 0,01 cm
Bremerhaven	8
Terschelling	14
Den Helder	11
Ymuiden	3
Hoek van Holland	26
Zierikzee	15
Flessingue	26
Cherbourg	2

A remarquer que la valeur de 0,26 cm/an pour Flessingue (à l'embouchure de l'Escaut) correspond très bien aux données adoptées en Belgique.

Sans doute, ce relèvement peut n'être que relatif et correspondre à un affaissement du sol.

J. Egidal <sup>(3)</sup> s'exprime à ce sujet de la façon suivante : « But the eustatic variation is a factor which cannot be neglected. The eustatic variation is due to the supply of water from the melting ice in the polar region and from the rivers and the precipitation over the sea minus the evaporation from the sea, and to the material brought to the sea by the rivers and to similar transports of material to and from the sea, and also to changes in the height of the bottom of the sea. It is obvious that the eustatic variation may be different from year to year, as well as from one period to another. During the last 50 years the eustatic variation has been considered to be 0,05 to 0,1 cm/year. »

Il résulte de cette donnée numérique que le relèvement absolu du niveau moyen de la mer dans la région qui nous intéresse n'a pu être au maximum que de 7 cm depuis 1888, date à partir de laquelle on dispose de relevés assez sûrs pour l'Escaut en Belgique. (Certains auteurs donnent cependant des chiffres plus élevés).

Il semble d'ailleurs que le long de la vallée de l'Escaut certains mouvements du sol ont superposé leur action à celle du relèvement du niveau de la mer, au moins dans certaines régions.

Toutefois, on peut dire que les deux actions combinées ne peuvent guère avoir modifié les vitesses du fleuve et ce n'est pas encore de ce côté qu'on devra chercher la cause des atterrissements qui nous occupent.

#### 5. Modifications survenues dans la propagation de la marée.

a) Les relevés des données des marégraphes le long du fleuve montrent que la vitesse de propagation de l'onde-marée a continuellement augmenté depuis 1888 jusqu'à l'époque actuelle.

Les figures 2 et 3 donnent respectivement les retards moyens des marées hautes et des marées basses aux différentes stations par rapport à l'instant de la production de la marée haute ou basse correspondante à Flessingue, pour la période 1888-1895 et pour la période 1940-1950. (Ces diagrammes ont été constitués à l'aide des données de l'étude de MM. CODDE et DE KEYSER <sup>(4)</sup>). On voit que ces retards, c'est-à-dire

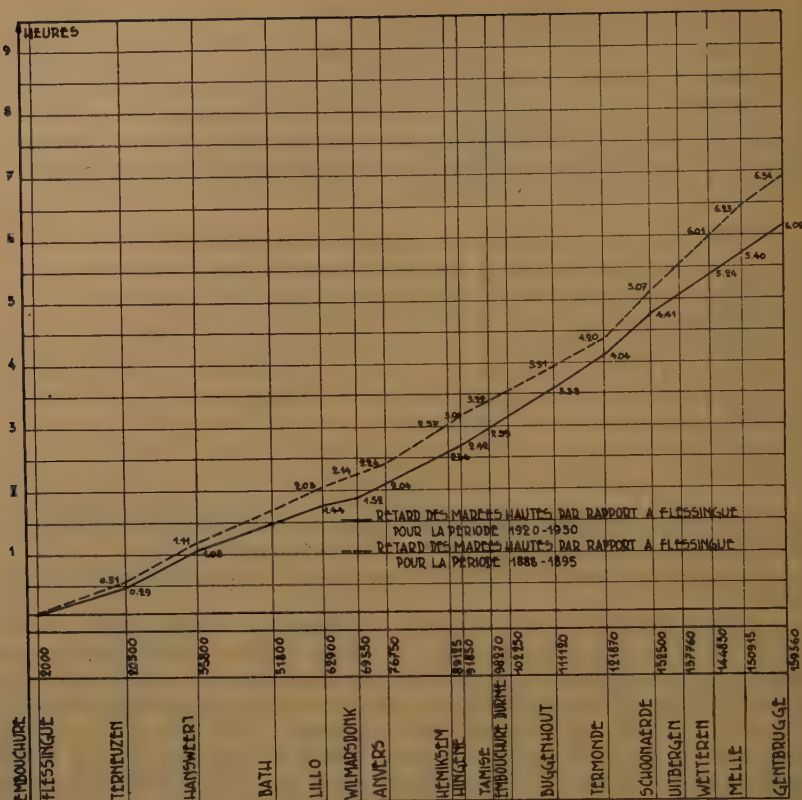


Fig. 2

les durées de propagation, ont notablement diminué depuis 1888-1895, les réductions étant cependant moins marquées pour les eaux basses.

b) L'augmentation de la vitesse de propagation de l'onde qui en résulte ne peut provenir que de la diminution de la résistance hydraulique du fleuve, par suite de rectifications, de dragages, d'enlèvements d'obstacles de toute nature.

Si on se reporte en effet aux résultats de la théorie de LORENTZ <sup>(5)</sup>, on se rappellera que la vitesse de propagation est donnée par :

$$v = \frac{\sqrt{gH \cos \frac{\delta}{2}}}{\cos \frac{\delta}{2}} = \sqrt{gH \left( 1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\delta}{2} \right)}$$

tandis que  $\delta$  est défini par :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{k}{n} = \frac{8}{3\pi} \frac{g U_{\max}}{C^2 H}$$

Le coefficient C est celui de Chézy et n est la fréquence de l'onde. La réduction de la résistance du lit correspond à une augmentation de C qui provoque la diminution

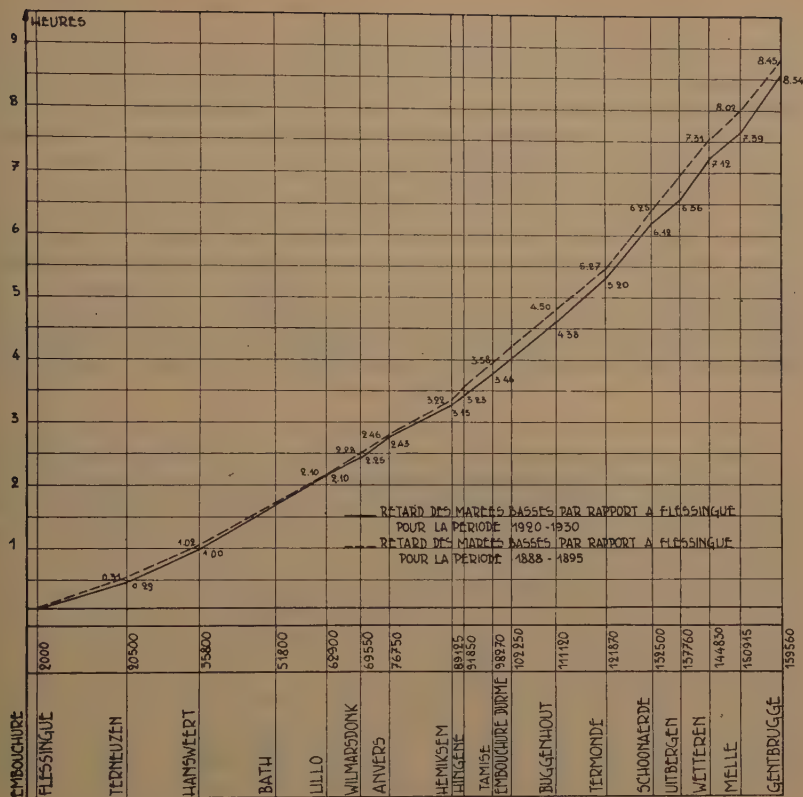


Fig. 3

de  $\delta$  et par conséquent l'accroissement de la vitesse de propagation de l'onde. A remarquer que la théorie de LORENTZ ne peut être appliquée sans réserves dans le cas qui nous occupe à cause notamment de la forme variable du lit et de l'existence d'un débit d'amont.

c) D'autre part comme on l'a dit plus haut, les diagrammes 2 et 3 montrent que l'accroissement de la célérité du sommet de l'onde est supérieur à celui de la vitesse de propagation des eaux basses, ce que la formule donnant  $V$  explique aisément.

La courbe instantanée du fleuve s'écarte donc d'autant plus d'une sinusoïde qu'on se déplace plus vers l'amont et que la résistance hydraulique du fleuve est plus réduite. A la limite pour une résistance nulle, on se trouverait, pour un canal rectangulaire, devant le problème traité par LAMB.

d) Il résulte du paragraphe 5 c que, dans une section déterminée, la durée de la montée des eaux au cours d'une marée, a diminué depuis 1888, puisque le maximum a vu sa vitesse de propagation augmentée plus fortement que celle du minimum : de ce fait, la durée de la descente a augmenté. C'est ce que montre la figure 4 donnant les durées des montées, pour les périodes 1888-1895 et 1940-1950, pour les diverses stations. La diminution de la durée de la montée atteint 1/2 heure à Gentbrugge.



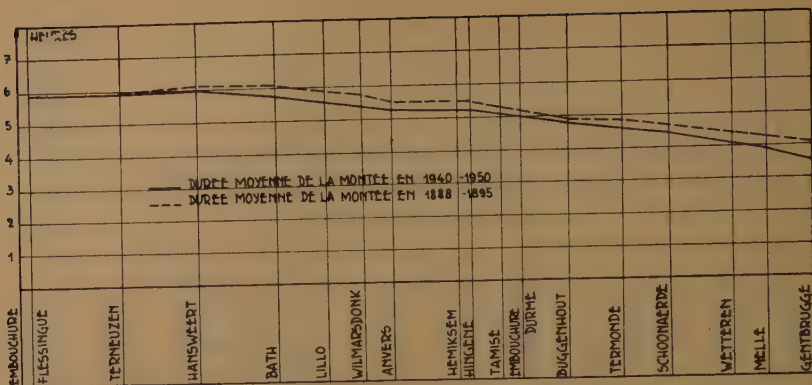


Fig. 4

e) En revenant à la théorie de LORENTZ, on peut se demander s'il est possible de déterminer si elle peut rendre compte d'une influence d'une réduction de la résistance hydraulique sur les temps de production des étales de flot et de jusant.

On sait que la variation de la hauteur d'eau dans une section est donnée par des termes :

$$\eta = A e^{-\sigma x} \cos (nt - rx)$$

avec :

$$\sigma = \frac{n \sin \frac{\delta}{2}}{\sqrt{gH \cos \delta}} \quad \text{et} \quad r = \frac{n \cos \frac{\delta}{2}}{\sqrt{gH \cos \delta}}$$

A est une constante à déterminer par les conditions aux limites.

D'autre part, le débit Q est donné par des termes :

$$Q = A e^{-\sigma x} \cos \left( nt - rx + \frac{\delta}{2} \right)$$

Il résulte de ces expressions de  $\eta$  et de Q que si x représente l'éloignement de la section envisagée de l'embouchure, le retard de la production du maximum de  $\eta$  dans cette section par rapport à l'instant du maximum à l'embouchure, sera fourni par :

$$nt_1 - rx = 0$$

tandis que le retard des étales de flot et de jusant dans la section envisagée par rapport aux instants correspondants à l'embouchure est donné par :

$$nt_2 - rx + \frac{\delta}{2} = \pm \frac{\pi}{2}$$

On déduit de ces deux dernières relations :

$$n(t_2 - t_1) = \frac{\pm \pi - \delta}{2}$$

c'est-à-dire que l'étale de flot est retardé et écarté de la marée haute par une réduction de la résistance (diminution de  $\delta$ ), tandis que l'étale de jusant est avancé et rapproché



de la marée haute. Toutefois ces avance et retard valent précisément la variation de  $\delta/2$ , de sorte que la durée du courant de flot n'est pas modifiée.

Or, le régime des marées dans l'Escaut maritime a fait l'objet d'une première grande étude en 1904 par MM. PIERROT et VAN BRABANDT<sup>(6)</sup> pour la période 1888-1895. Nous ne nous étendrons pas sur la méthode suivie pour cette étude qui a notamment permis de déterminer les temps des étales de flot et jusan dans un très grand nombre de sections. Une étude analogue fut faite par BONNET et BLOCKMANS<sup>(7)</sup>, en 1936, pour la période 1920-1930. Sur la figure 5, nous avons reporté les résultats de ces deux études relatifs aux durées du courant de flot et les résultats sont des plus intéressants. A l'embouchure la durée a diminué entre les deux études : c'est une constatation indépendante du problème qui nous intéresse, une donnée de départ. Cette diminution se transmet sur tout la partie hollandaise du fleuve et on peut admettre, par suite de la faible variation de la diminution dans cette région, que c'est le changement à l'embouchure qui l'a provoquée et non un changement de l'état du fleuve. Dans la partie belge, de la frontière à Tamise, ces durées ont notablement diminué.

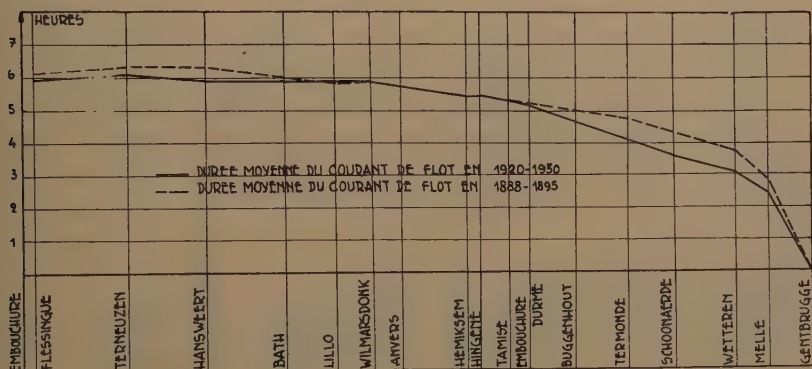


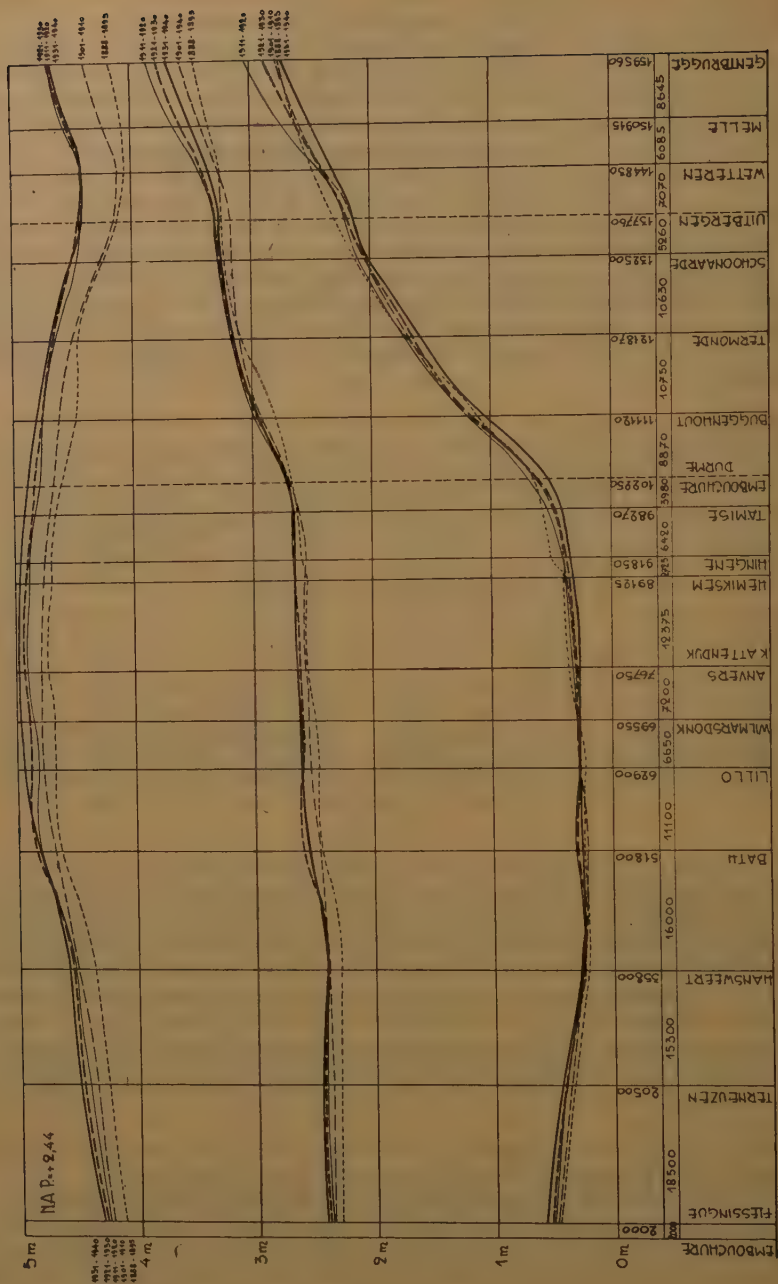
Fig. 5

En fait c'est la seule modification à retenir par nous. Elle est en opposition avec le résultat déduit de la théorie de LORENTZ. Nous avons déjà dit que celle-ci ne pouvait pas être appliquée sans réserves aux fleuves à marées. Dans le cas qui nous occupe, on remarquera que l'étude de 1888-1895 est basée sur un apport d'amont de  $69 \text{ m}^3/\text{sec}$  alors que celle de 1920-1930 adopte un débit d'amont presque double :  $127 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Or, c'est précisément dans la région où ce débit d'amont influence le plus l'écoulement qu'on constate la différence. C'est aussi la région où la rivière se retrécit le plus et s'adapte le moins à la forme rectangulaire très large adoptée par la théorie de LORENTZ. A notre avis l'écart constaté est surtout provoqué par les valeurs différentes des débits d'amont.

6. Modifications des hauteurs moyennes des marées hautes et des marées basses ainsi que des hauteurs correspondant aux étales de flot et de jusan.

a) La diminution de la résistance hydraulique du fleuve a eu d'autres effets que ceux dont nous venons de parler. Elle a notamment causé une meilleure conservation de l'énergie de l'onde-marée au cours de sa propagation et la conséquence a dû être une augmentation de l'amplitude des marées provoquées tant par un relèvement des hauteurs moyennes des marées hautes que par un abaissement des hauteurs moyennes des marées basses. Les résultats de LORENTZ, en les supposant applicables

# ESCAUT



à l'Escaut, conduisent d'ailleurs à cette même conclusion. En effet, la réduction des amplitudes  $2\eta$  de la marée est donnée par une loi exponentielle :

$$\eta = A e^{-\sigma x}$$

$x$  étant la distance de l'embouchure et  $\sigma$  étant égal à :

$$\frac{n \sin \frac{\delta}{2}}{\sqrt{gH \cos \delta}} \text{ soit } \frac{n}{\sqrt{gH}} \frac{1}{\sqrt{\cotg^2 \frac{\delta}{2} - 1}}$$

Une réduction de la résistance hydraulique du fleuve correspond, avons-nous vu, à une diminution de  $\delta$  et par conséquent à une diminution de  $\sigma$ , c'est-à-dire à un accroissement des valeurs de  $\eta$ , comme nous le disions ci-dessus.

Pour l'Escaut, les constatations faites sont en concordance avec ces résultats, comme le montre le diagramme 6 emprunté à VEKEMANS.

b) Il semble qu'il doive résulter de cette augmentation de l'amplitude de la marée un accroissement des volumes d'eau qui s'emmagasinent dans la partie maritime du fleuve.

La question demande cependant à être étudiée de plus près. VAN BRABANDT <sup>(8)</sup> a en effet établi que le volume de flot dans une section, abstraction faite des apports latéraux, est précisément le volume compris entre les lieux géométriques des étales de jusant et des étales de flot à l'amont de la section considérée (fig. 7). C'est le volume hachuré pour la section  $\alpha$ .

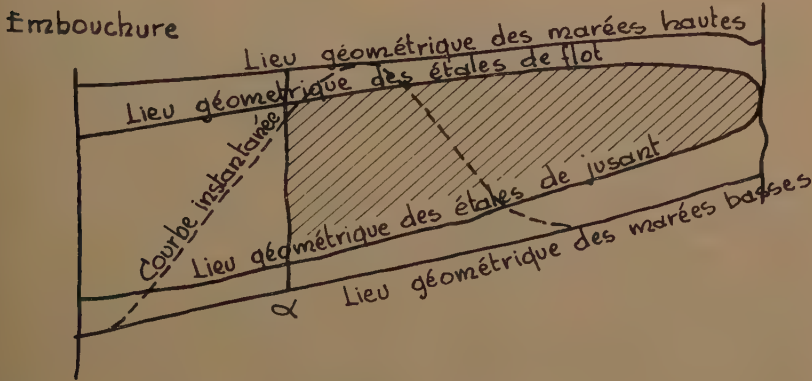


Fig. 7

On a vu plus haut (5 e) que d'après la théorie de LORENTZ, une réduction de la résistance hydraulique du fleuve éloigne, dans une section, l'étales de flot de la marée haute, mais rapproche du même import l'étales de jusant de la marée haute. Il en résulterait que si les amplitudes de marée restaient identiques, la hauteur correspondant à l'étales de jusant resterait sensiblement la même : la réduction, qui vient d'être rappelée, de l'intervalle de temps entre cette étales de jusant et la marée haute tend à augmenter cette hauteur tandis que la montée plus rapide au cours du gagnant (établie au début du paragraphe précédent) tend à la réduction de cette hauteur. Sous l'effet de ces deux influences, travaillant en sens opposé, on peut prévoir que la hauteur

de l'étalement de jusant ne serait guère influencée par une réduction de résistance, si l'amplitude de la marée restait la même. La hauteur correspondant à l'étalement de flot resterait vraisemblablement à peu près la même sous l'action de deux facteurs opposés : l'augmentation de l'écart de temps entre la marée haute et l'étalement de flot qui tendrait à réduire la hauteur correspondant à cette étalement d'une part et l'adoucissement de la pente de la descente des niveaux qui en provoquerait le relèvement d'autre part. On peut donc dire que si les amplitudes des marées n'étaient pas influencées par la diminution de résistance hydraulique, le volume de flot resterait sensiblement le même.

Mais, l'action principale de la réduction de la résistance hydraulique est précisément d'augmenter l'amplitude de la marée, surtout par relèvement des marées hautes comme le montre la figure 6. Cette augmentation tend surtout à accroître la hauteur correspondant à l'étalement de flot, tout en réduisant celle de l'étalement de jusant. Elle provoque donc une augmentation particulièrement sensible du volume du flot.

Nous avons fait remarquer que pour les sections de la partie amont de l'Escaut maritime la durée du courant de flot entre les périodes 1888-1895 et 1920-1930 avait diminué (surtout sous l'action d'apports d'amont plus élevés au cours de la dernière période, avons-nous dit). Cette diminution de durée ne nous permet pas d'appliquer a priori la conclusion ci-dessus aux sections en question.

c) Ici encore, nous avons comparé les chiffres relatifs à 1888-1895 à ceux se rapportant à 1920-1930, mais nous insistons sur le fait que les apports d'amont étant plus faibles en 1888-1895, cette circonstance a favorisé la production de forts volumes de flot au cours de cette dernière période.

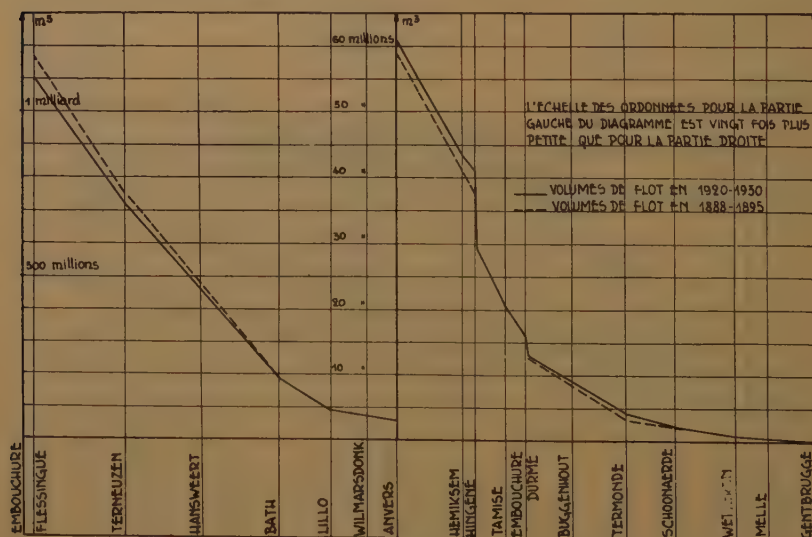


Fig. 8

Or, en dépit de ce fait, le diagramme 8 montre que les volumes de flot de 1920-1930, à l'amont d'Anvers, sont plus grands en général, que ceux de 1888-1895. Cette constatation ne peut s'expliquer que par l'accroissement notable de la pénétration de l'onde-marée sous l'action des réductions de résistance.

La situation sur la partie hollandaise est tout autre, mais il semble que d'autres facteurs sont intervenus dans cette région.

A 141 190 km EN AMONT DE L'EMBOUCHURE

LE PLAN DE COMPARAISON DES HAUTEURS PASSE PAR LE ZÉRO DU DÉPÔT DE LA GUERRE

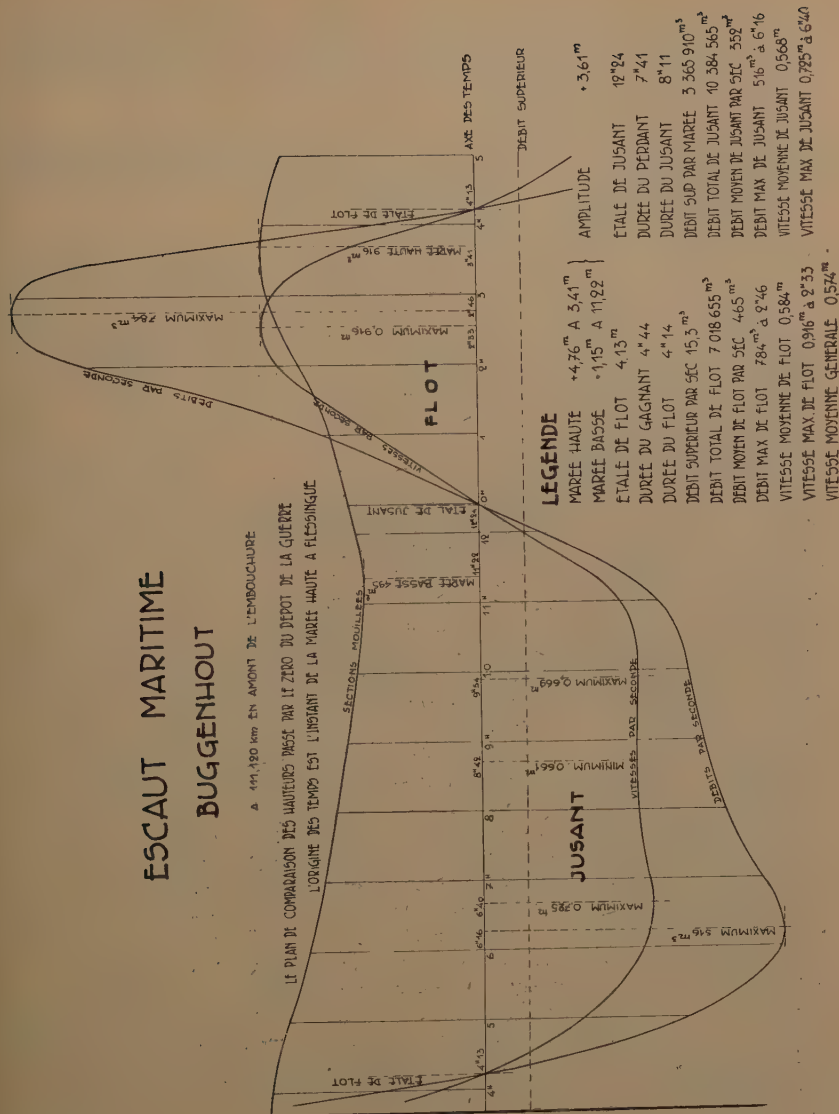


Fig. 9

7. a) L'augmentation du volume du flot sur la partie belge du fleuve est à rapprocher des résultats exposés au 5 e : à l'amont d'Hemiksem, la durée du courant de flot a diminué. Les deux facteurs travaillent dans le même sens pour provoquer une augmentation de la vitesse de flot, dont la cause initiale est la réduction de la résistance hydraulique du fleuve.

Toutefois on peut se demander si un autre facteur n'est pas intervenu : l'augmentation des sections mouillées, du fait de l'accroissement des hauteurs d'eau. En fait,



les accroissements de sections mouillées ont été peu importants et on peut donc conclure à la nécessité d'une augmentation des vitesses de flot sous l'action de l'amélioration du fleuve. La figure 9 empruntée à BLOCKMANS et BONNET (?) donne une idée de la répartition moyenne des vitesses dans une des sections qui nous intéresse au cours de la période 1920-1930.

Pour des apports d'amont identiques, l'augmentation du volume de flot provoque évidemment un accroissement égal du volume de jusan, mais ce dernier accroissement porte sur des temps beaucoup plus longs, de sorte que les vitesses de flot sont relativement plus augmentées que les vitesses de jusan.

b) Les deux études mentionnées précédemment, pour les périodes 1888-1895 et 1920-1930 devraient permettre de se rendre compte si ces conclusions se trouvent justifiées.

Elles le sont effectivement en ce qui concerne les vitesses de flot pour la partie en amont de l'embouchure de la Durme (qui est celle qui nous intéresse). On pouvait d'ailleurs le prévoir à la considération des figures 5 et 8, car dans cette région le volume de flot a augmenté et la durée du flot a diminué.

Par contre, nos conclusions ne semblent pas vérifiées par la comparaison ci-dessus, à l'aval de l'embouchure de la Durme.

Rien d'étonnant d'ailleurs. Nous avons déjà dit que les résultats de ces deux études ne peuvent pas être comparés, pour le problème qui nous occupe, car la première a été faite avec un apport d'amont qui ne vaut qu'environ la moitié de ce qui a été adopté pour l'autre. Dans la dernière étude (période 1920-1930), les apports d'amont plus importants ont augmenté les vitesses de jusan d'une part et se sont opposés d'autre part à la pénétration du flot par rapport à ce qu'on a obtenu dans l'étude de la période 1888-1895. Quand on examine la note relative à la période 1888-1895 (\*) en tenant compte des mesures des apports d'amont faites depuis lors, on est d'ailleurs obligé d'admettre que ces apports ont certainement été sous-évalués à l'époque. Ainsi la note en question adapte 23 m<sup>3</sup>/sec pour le débit du seul Escaut supérieur avec la Lys pour la période 1888-1895. Or, la moyenne de la période 1941-1951 qui fut très sèche est de 34 m<sup>3</sup>/sec. Par contre les valeurs des apports d'amont adoptées pour 1920-1930 se rapportent à une période très humide (52 m<sup>3</sup>/sec pour l'Escaut supérieur et la Lys).

En d'autres termes les deux situations en question (1888-1895 et 1920-1930) ne sont pas seulement influencées par les améliorations du fleuve entre les deux périodes, mais aussi par la différence notable des apports d'amont.

D'autres études analogues, pour des périodes au cours desquelles les apports d'amont seraient plus comparables sont à souhaiter.

Il est aussi évident que la comparaison ne peut porter sur des régions où des atterrissements ont profondément modifié les sections.

8. a) Dans la région qui nous intéresse (l'Escaut en amont de l'embouchure de la Durme), les vitesses de flot ont été sérieusement augmentées entre les deux périodes indiquées.

Nous estimons que cette modification n'est pas restée sans influence sur le mouvement des matériaux solides.

b) Les études relatives à ce mouvement ont toutes montré que le débit solide croît beaucoup plus rapidement que la vitesse moyenne du courant. Nous ne pouvons nous arrêter aux multiples formules qui ont été proposées, mais si nous prenons celles dérivées de l'étude de DU BOYS (SCHOKLITCH, STRAUB, etc.) (\*), on peut les mettre sous la forme générale suivante :

$$G = \varphi \cdot d^n h_i (h_i - \psi)$$

G est le débit solide en poids (par unité de largeur),  $\varphi$  et  $\psi$  sont des coefficients

dépendant du diamètre  $d$  des matériaux,  $h$  est la hauteur d'eau et  $i$  est la pente. On peut remplacer  $hi$  par le carré de la vitesse moyenne en modifiant les coefficients et on remarque alors que le débit solide est proportionnel à :

$$U^2(U^2 - \psi')$$

La première formule de SCHOKLITSCH est du même type et donnerait un débit solide proportionnel à :

$$U^2(U^2 - U_0^2)$$

$U_0$  étant la vitesse pour laquelle le mouvement des matériaux commence.

Dans notre problème ces vitesses se renversent à intervalles réguliers et un débit solide s'établit alternativement dans les deux sens.

L'évacuation du débit solide amené par les apports d'amont exige que :

$\int_{t_j}^{t_f} U^2 (U^2 - U_0^2) dt$  pour la période de flot soit nettement inférieur à l'expression

correspondante pour la période de jusant c'est-à-dire à :  $\int_{t_j}^{t_f} U^2 (U^2 - U_0^2) dt$ .

Il faut de plus que cette inégalité soit vérifiée tout le long du cours d'eau.

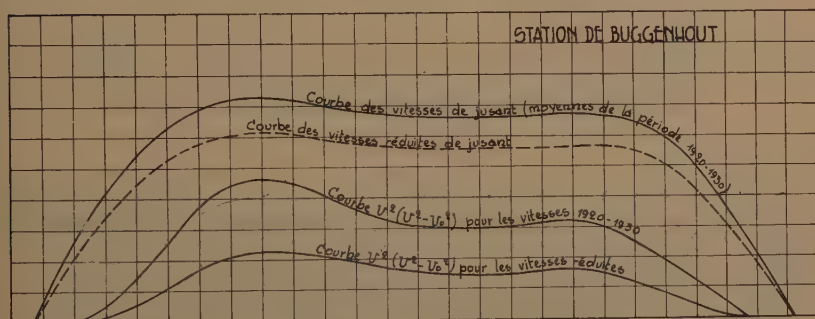


Fig. 10

c) Si on fait cette vérification pour la partie aval du bassin maritime de l'Escaut (jusqu'à Tamise, à l'amont de l'embouchure du Rupel), même avec des apports d'amont variant du simple au double, l'inégalité en question est toujours vérifiée, même pour des valeurs assez fortes de  $U_0$ .

Il n'en est plus de même à l'amont de Tamise dans l'Escaut et dans la Durme. Les figures 10 et 11 donnent un exemple de pareille vérification pour la section de Buggenhout. Nous avons adopté pour  $U_0$  une valeur assez faible : 0,25 m/sec qui correspond assez bien à la vitesse mettant en mouvement des grains de 0,3 mm qui interviennent en forte proportion dans les matériaux du fleuve aux endroits considérés. Pour les valeurs des vitesses empruntées au diagramme des vitesses de l'étude de 1920-1930 (forts apports d'amont), on a calculé, tant pour le flot que pour le jusant, les valeurs correspondantes de  $U^2 (U^2 - U_0^2)$  et on en a constitué le diagramme en fonction du temps (figure 10 pour le jusant, figure 11 pour le flot). Les surfaces des deux courbes ainsi obtenues représentent les deux intégrales ci-dessus et on trouve que le rapport de l'intégrale pour le jusant à celle pour le flot vaut : 59/55. Si au lieu

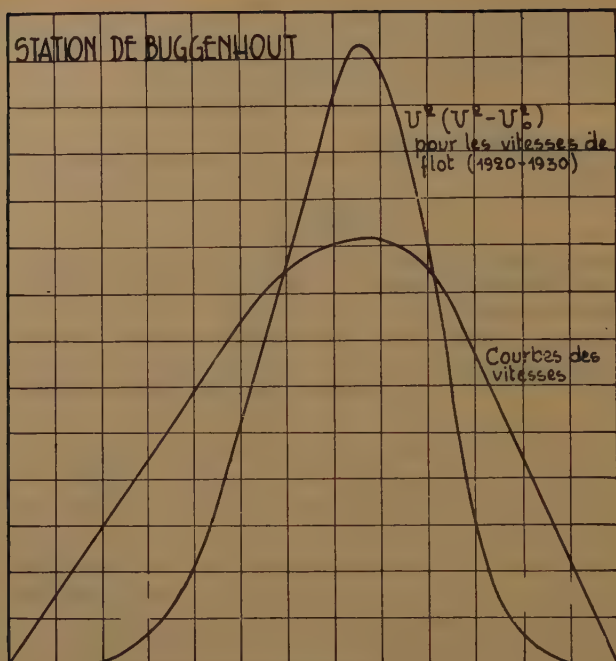


Fig. 11

de prendre  $U_0 = 0,25$  m/sec on adopte  $0,30$  m/sec (grain de  $0,5$  mm) le rapport en question devient inférieur à 1 c'est-à-dire que les matériaux supérieurs à  $0,5$  mm ne peuvent être évacués que lors de crues et vraisemblablement en partie.

Il y a donc en moyenne évacuation du débit solide amené.

d) Mais si les apports d'amont sont moins importants, (si par exemple la somme des débits de l'Escaut supérieur, de la Lys et de la Dendre est de  $30$  m<sup>3</sup>/sec (période 1944-1951) au lieu de  $65$  m<sup>3</sup>/sec (période 1920-1930), la moyenne du débit de jusan à Buggenhout qui était de  $230$  m<sup>3</sup>/sec sera évidemment fortement diminuée. Il est difficile de dire dans quelle mesure, mais une hypothèse assez défendable est de supposer que le débit moyen de jusan est réduit de  $65 - 30 = 35$  m<sup>3</sup>/sec, c'est-à-dire d'environ 15 %, alors qu'on admettra un flot non modifié. Nous avons constitué un diagramme de vitesses de jusan réduites de 15 % et nous en avons déduit la courbe :  $U^2(U^2 - U_0^2)$  avec  $U_0 = 0,25$  m/sec comme il est indiqué ci-dessus. La valeur du rapport :

$$\frac{\int_{\text{jusan}} U^2 (U^2 - U_0^2) dt}{\int_{\text{flot}} U^2 (U^2 - U_0^2) dt}$$

tombe alors à  $28/55$ , ce qui signifie un arrêt des matériaux solides de  $0,3$  mm et même moins.

e) Nous avons fait une étude analogue de la station de Waasmunster sur la Durme dans les conditions 1920-1930. Le rapport indiqué prend ici la valeur  $12/22,5$  pour  $U_0 = 0,25$  m/sec (figures 12 et 13).

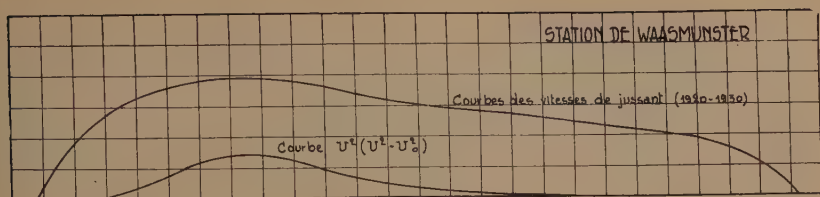


Fig. 12

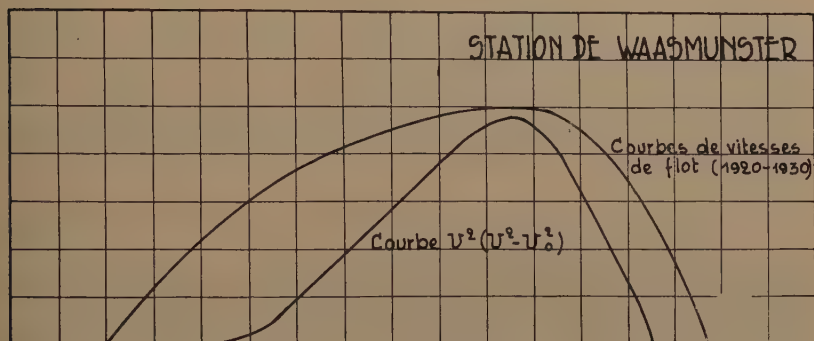


Fig. 13

9. Une application plus correcte de la méthode exigerait, comme nous l'avons déjà dit, des données tenant compte des diverses valeurs des apports d'amont. Mais on peut cependant déduire de ce qui précède certaines conclusions en rapprochant les divers points que nous avons traités :

a) Dans certaines sections des parties maritimes du fleuve et de ses affluents soumis à marée, situées à l'amont de l'embouchure de la Durme, le débit solide du courant de flot se rapproche dangereusement du débit solide du courant de jussant, même pour des matériaux relativement fins, même pour des valeurs assez fortes des apports moyens d'amont.

b) Si ces apports d'amont diminuent comme ils le font périodiquement, le courant de flot peut l'emporter sur le courant de jussant au point de vue des capacités de transport de matières solides et il en résultera un accroissement des dépôts à l'amont des sections où la capacité du flot devient prépondérante.

c) Des considérations sur l'influence de l'amélioration du fleuve, c'est-à-dire sur la réduction de sa résistance hydraulique conduisent à la conclusion que cette réduction, en dehors de toute autre action, doit provoquer un accroissement des vitesses de flot, supérieur à celui des vitesses de jussant. L'amélioration du fleuve dans la partie aval de sa partie maritime semble donc renforcer l'influence relative des transports solides des courants de flot et conduire à l'accroissement des dépôts comme il est dit sous le littéra b.

d) Les deux seules études des périodes 1888-1895 et 1920-1930 sont insuffisantes pour vérifier ces considérations.

e) La production des dépôts, envasements, ensablements peut exiger des temps très longs. Les vitesses réelles fluctuent en effet continuellement autour des vitesses moyennes telles qu'elles sont données par les diagrammes présentés ci-dessus. Des

dépôts dus à une longue période de calme peuvent donc être brusquement enlevés, au moins partiellement, par de temporaires accroissements des apports d'amont. En d'autres termes de brusques et relativement courts relèvements de  $U$ , provoqués par une crue d'amont par exemple, peuvent donner :  $U^2 (U^2 - U_0^2)$  des valeurs permettant l'enlèvement de tout ou d'une partie des dépôts correspondant à une longue durée de relativement faibles valeurs de  $U$ . Ceci peut expliquer pourquoi la modification graduelle du régime des marées peut mettre un temps très long pour réaliser la situation d'équilibre des transports solides dus à cette modification.

#### BIBLIOGRAPHIE

- (<sup>1</sup>) L. J. TISON. — Transport des matières solides et sédimentation dans la vallée de l'Escaut. — *Comptes rendus et rapports de l'Association Internationale d'Hydrologie*. Assemblée de Bruxelles 1951.
- (<sup>2</sup>) R. VEKEMANS. — Tienjarig overzicht 1931-1940 der Tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken. — *Annales des Travaux Publics*. Août 1946.
- (<sup>3</sup>) Publications 5, 10 et 13 de l'Association Internationale d'Océanographie physique.
- (<sup>4</sup>) R. CODDE et L. DE KEYSER. — Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken gedurende het tijdperk 1941-1950. *Annales des Travaux Publics*. Août 1954.
- (<sup>5</sup>) a) J. Th. THIJSE. — Berechnung von Gezeitenwellen mit beträchtlicher Reibung. — Vorträge aus dem Gebiete der Hydro- und Aerodynamik; édité par Th. von Karman et T. Levi-Civita 1924.  
b) Verslag Staatscommissie Zuiderzee 1918-1926.
- (<sup>6</sup>) PIERROT et VAN BRABANDT. — Recueil de documents relatifs à l'Escaut Maritime. — Etude sur le régime des Rivières du Bassin de l'Escaut Maritime, 1907.
- (<sup>7</sup>) BONNET et BLOCKMANS. — Etude du régime des rivières du Bassin de l'Escaut Maritime par cubature de la marée moyenne décennale 1921-1930.
- (<sup>8</sup>) VAN BRABANDT. — Note sur les étales de courant dans l'onde-marée et sur leurs lieux géométriques. — *Annales des Travaux Publics* 1908.  
L. J. TISON. — Discussion « Lunar-Cycle Measurement of Estuarine Flows » by I. M. INGERSON. *Proceedings Amer. Soc. Civ. Engineers. Journal Hydraulics Division*. Paper 955-46.
- (<sup>9</sup>) DU BOYS. — Le Rhône et les rivières à lit affouillable. — *Annales des Ponts et Chaussées*, 1879.  
SCHOKLITSCH. — Geschiebebewegung in Flüssen und an Stauwerken. Wien 1926 etc.  
STRAUB. — A practical theory of detritus transportation,... *Intern. Assoc. for hydraulic Structures Research*. Liège 1939, etc.



# A METHOD FOR ESTIMATING THE SEDIMENTATION OF SUSPENDED MATERIAL <sup>(1)</sup>

DR ÅKE SUNDBORG

*The geographical Institution, Uppsala Sweden*

In the article the mechanism of deposition of suspended material in rivers, reservoirs and lakes is discussed, and there is proposed a method of predicting the distribution of the sediment within the sedimentation basin. The method implies an application of the salt-dilution method for water discharge measurements to the study of the turbulent diffusion in rivers and small lakes. Salt solution is injected at a point in a river and the passage of the salt-solution wave is measured at a large number of points on transverse sections downstream from the point of injection. The data provide a picture of the turbulent diffusion, which is the basis of an estimate of the deposition of suspended material. The well known logarithmic reduction of the thickness of a deposit and the gradual decrease of the grain size in the direction of transportation is clearly apparent from the deduction.

## INTRODUCTION

Aggradation of a river bed, the building up of levees, layers of mud and silt left behind in flooded areas, and the filling in of lake basins are all intimately connected with the deposition of suspended material. The morphological importance of the deposition process is thus obvious. A common hydrotechnical problem is the prediction of how suspended material will be deposited in a planned reservoir or dam basin. Large sums are involved when a reservoir is to be planned so that it can accommodate deposited sediment without undesirable reduction of the reservoir's useful life.

In spite of the fact that the mechanism of transport of suspended material is relatively well understood, «methods of predicting the distribution of the sediment that is to be deposited in a reservoir are still in need of improvement» (CARLSON and MILLER, p. 953-19).

There are various factors that affect sedimentation in a river or lake. Some of the most important are: the amount of suspended material in the stream and its size distribution, the configuration of the river or basin, the course of the stream in the sedimentation region — including possible occurrence of density stratification — the water discharge in relation to the storage capacity, the «capturing effect» of vegetation, flocculation of colloidal suspended material, and so on.

In attempting to assign an explicit mathematical form to some of these factors the author has adopted the following simplifying assumptions.

1. The ratio of the number of particles in a certain interval of grain size that are picked up from the bed to the number that are deposited, is denoted by  $\varphi(c)$ .  $\varphi(c)$  is an unknown function of, among other quantities, the grain size (or the settling velocity  $c$ ), and flow parameters. However, it is reasonable to assume that  $\varphi(c)$  is certainly zero when the flow velocity is less than the velocity for the cessation of movement of bed load. The formation of a laminar sublayer is probably of essential importance if particles are to be left undisturbed once they have been deposited. Vegetation growing on the bottom, or vegetation in a flooded area, reduces the velocity of flow near the bottom, and therefore helps to lower  $\varphi(c)$ .

<sup>(1)</sup> This article is a digest of some parts of the publication «The river Klarälven. A study of fluvial processes» (*Geogr. Ann.*, vol. 38, Stockholm 1956, 192 pp.).

2. The amount of material in a particular size fraction which falls on to unit area of the bottom per unit time may be expressed quantitatively as  $c \cdot s_b$ , where  $c$  is the settling velocity for the grain-size fraction concerned, and  $s_b$  is the concentration of this fraction in the water near the bottom.

3. We assume that there is a stationary state or state of equilibrium in the body of water under consideration as regards the flow of water and concentrations of sediment, so that the concentration of sediment at any point is practically constant with time: the net deposition of sediment of a particular grain size on an area  $Y$  during the time  $dt$  is given by  $Y \cdot c \cdot s_b [1 - \varphi(c)] dt$ . The total net sedimentation is obtained by integrating over all grain sizes.

4. We also assume that changes in the state of flow along the direction of flow do not take place so rapidly that the normal vertical distribution of suspended material is disturbed.

5. The average concentration <sup>1)</sup> of material in a particular fraction is denoted by  $s_m$ . The concentration at the bottom,  $s_b$ , is taken to be equal to  $\Phi(c) \cdot s_m$ , where  $\Phi(c)$  is a function which, like  $\varphi(c)$ , depends on the settling velocity and the flow conditions. For given flow conditions  $\Phi(c)$  may be obtained graphically from curves for the vertical distribution of suspended matter (cf. SUNDBORG 1956).

6. Deposition of sediment will lead to a decrease in the concentration of sediment in the downstream direction, unless local erosion or tributary streams supply more sediment. The total amount of material in the fraction considered which passes per unit time a vertical area of unit breadth and of the same depth  $d$  as the water is  $u_m \cdot d \cdot s_m$ , where  $u_m$  is the mean velocity, averaged over the vertical distribution.

Let us now consider two-dimensional flow with constant  $d$  and  $u_m$ , and with a system of coordinates that moves with the flow, i.e. with a velocity  $u_m$  with respect to the bottom. Then we may write the differential equation

$$c \cdot s_m \cdot \Phi(c) [1 - \varphi(c)] dt + d \cdot ds_m = 0 \quad (1)$$

Since  $d$  and  $u_m$  are constant by assumption,  $\Phi(c)$  is also constant. We will discuss the simple case where  $\varphi(c) = 0$ , i.e. where no material is picked up from the bottom.

Integration from time 0 to time  $t$  then gives

$$s_{m_t} = s_{m_0} \cdot e^{-\frac{c \cdot \Phi(c)}{d} t} \quad (2)$$

Eq. (1) gives the concentration of material of a particular grain-size fraction that remains in suspension after the water has flowed for a period  $t$  with the given velocity and depth of water.

In practice it would often be difficult to apply (1), principally because the flow conditions vary from point to point in a stream. The retardation of water near the bank lines and the separation of the flow from the shores where these diverge, are factors of very great importance for sedimentation.

So it would really be necessary to know the depth, flow velocity, and state of turbulence at each point of a watercourse in order to be able to analyse the process of sedimentation in detail. However, the mathematical treatment of turbulent diffusion and sedimentation in terms of a turbulence model would entail great, probably insurmountable, difficulties.

In making a sedimentation forecast it is therefore necessary to simplify the reality to a considerable degree. The problem then becomes a matter of choosing the simplifications so that they have the least possible effect on the reliability of the final result.

(<sup>1</sup>) The average concentration is the average concentration in the volume of water passing per unit time an area which is perpendicular to the flow, of unit breadth, and of the same depth as the water.

On the supposition that some sort of average values for depth and state of turbulence together with a relatively detailed knowledge of the flow configuration in a region under consideration may conceivably lead to satisfactory results from eq. (1), the author has worked out a method for predicting sedimentation of non-colloidal suspended material.

#### APPLICATION OF THE RELATIVE SALT-DILUTION METHOD TO MEASUREMENTS OF THE TURBULENT DIFFUSION

The author's method is an adaptation of one form of the electrical conductivity method. This way of measuring river discharge has been used in Norway, where it has been developed mainly by R. SÖGNET at Norges Vassdragsvesen (AASTAD and SÖGNET 1952). The method has been called *the relative salt dilution method* (relative Verdünnungsmethode). Its main features are as follows: <sup>1)</sup>

When a certain amount of a primary salt solution (NaCl) of arbitrary though relatively high concentration is injected into a stream, the water at a point downstream will be a dilute salt solution during a certain period after the injection. The dilution which the primary solution has undergone may be determined by measuring the variation of the conductivity of the water during the time the «salt wave» takes to pass the point of measurement.

The amount of the primary salt solution is adjusted according to the size of the stream and the natural salt content of the water. In favourable circumstances 50 litres of salt solution are sufficient to measure a discharge up to 50 m<sup>3</sup>/sec.

For measuring the discharge of a river the brine is injected at a place where there is such strong turbulence that a homogeneous mixture can be obtained within as short a distance as possible. The injection need not be continuous for a certain period; it can take place instantaneously or intermittently during a short period of time.

Mixing with the running water produces salt solution with a variable degree of dilution. This dilution is measured continuously at the measuring point as long as the salt wave is passing.

The recording device is an instrument for measuring electrical conductivity, coupled to plate electrodes immersed in the water at the place of measurement. A suitable instrument is an a.c. soil-resistance meter (Megger earth tester). The size and shape of the electrodes is adapted to the salt content of the water. The electrodes should be of silver to reduce the effect of polarisation.

Resistance and time must be recorded throughout the period of measurement. If an automatic recording instrument is not available it may be necessary to film the meter reading if the wave of salt passes rapidly. The temperature of the water is taken before and after each series of measurements. The resistance graph that may be constructed with the aid of the measured values differs in appearance according to the flow conditions.

The resistance graph can be transformed to a dilution graph in the following manner. A small sample of the injected brine is set aside so that its resistance may be determined at various dilutions. A container of known volume is filled with river water, the electrodes are immersed in the water, and the resistance ( $R_B$ ) and temperature are read off. By means of a pipette  $b$  ml of the primary solution are then added to the water in the container, producing a solution of dilution  $f_b = b/1\ 000\ B$ , if  $B$  is the volume of the container in litres. The resistance and temperature are once more recorded, and the same procedure is afterwards repeated with further additions of the primary solution, until a calibration curve is obtained that covers the range of values from the actual measurements. The calibration curve shows the relation between resistance and dilution.

Direct graphical application of the calibration curve, which is approximately a hyperbola, is not sufficiently accurate. It is therefore customary to use the following formula:

$$f_b = K \left[ \left( \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_{b^2}} \right) - \left( \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_B^2} \right) \right] \quad (3)$$

(<sup>1</sup>) The account given here is in the main an abridged form of that in AASTAD and SÖGNET 1952.

If the expression  $\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R^2}\right)$  is replaced by  $\alpha R$  this formula becomes

$$f_b = K (\alpha R_b - \alpha R_B) \quad (4)$$

The graph of  $f_b$  vs.  $\alpha$  is a straight line according to this equation. The experimental curve from some rivers is slightly curved, but in any case it is not difficult to transform the resistance graph to a dilution curve graphically.

*The area under the dilution vs. time curve corresponds to the average dilution of the primary solution at the measuring point, multiplied by the time taken for the salt wave to pass the point. The discharge is obtained from the formula*

$$q = V/A \quad (5)$$

where  $q$  is the discharge,  $A$  the area under the dilution-time curve, measured in appropriate units, and  $V$  the amount of brine injected.

Corrections must be made for temperature variations and, where necessary, for the difference between the resistance of the river water measured in the actual channel and that measured in the container used for calibration measurements.

When the relative salt-dilution method is used to measure the discharge of a river, it is necessary to choose the place for injection so that the brine mixes with the river water as rapidly as possible in order to obtain a reliable result.

But if the method is to be used to study turbulence, the purpose is to follow the spreading in detail from the injection of the brine. In this case the method is not restricted to stretches of the river where there is rapid, turbulent flow; it can also be used where the flow is relatively calm. However, it is important that the injection of brine does not affect the local state of turbulence to such a degree that the mixing process does not follow its normal course.

The factor that may affect the natural mixing process is the difference between the density of the injected brine and that of the river water. The density depends on the salt content, the temperature, and the sediment content. Since the local river water is used to prepare the brine, the differences in temperature and sediment content are generally so small that they can be neglected. The salt contents, on the other hand, differ widely.

The natural salt content in rivers exhibits large regional and temporal variations (ERIKSSON 1929). In Fyrisan, for instance, the salt content varies about an average value of c. 200 mg/l (HJULSTRÖM 1935, p. 430), while in Klarälven it is some 30-40 mg/l (ERIKSSON 1929, p. 39). When the natural salt content is 200 mg/l, a solution with a density 0.0003 g/cm<sup>3</sup> higher has a concentration two times as high; for a salt concentration of 40 mg/l the figure is ten times.

If 0.0003 g/cm<sup>3</sup> is taken to be the least density difference that affects the turbulent mixing, the above estimates indicate that considerable relative differences in salt concentration may occur without causing density stratification. Nevertheless, it cannot be expected that the strong concentrations usually employed for river discharge measurements (10-20 % solutions) will not to some extent damp the local turbulence on injection.

In order to investigate the influence of the salt concentration on the mixing process repeated measurements were carried out at various distances (10-200 m) below a fixed injection point in Klarälven. The concentration of the injected brine was varied. The brine was poured directly into the water from a boat. The time taken for this operation was 2-5 sec. At distances less than 30-40 m from the injection point the instrument readings were generally filmed. The main results of these tests may be summarised as follows.

1. At short distances from the point of injection the readings fluctuated greatly during the short time the salt wave took to pass, especially when high concentrations were used.

2. At large concentrations it was found that the injected salt solution sank up



to a metre through the less dense river water during the first part of its movement downstream.

3. At greater distances from the injection point ( $> 50$  m) there were no detectable differences in the spreading out of the salt solution for different primary concentrations.

These observations seem to indicate that the injected solution at first moves to some extent independently, and that the microturbulence at the boundary surface between the solution and the river water is damped somewhat by the density contrast. But bodies of brine are soon deformed and broken up by macroturbulent motion in the flowing water, and an effective mixing takes place. Since the volume of solution injected is always very small compared with the river's discharge, the salt concentration soon falls to such a low value that there is no longer any risk of density stratification and modification of the turbulent mixing. The state of turbulence in the river naturally determines the efficiency of mixing to a large extent.

The turbulent mixing process can therefore be studied by injecting salt solution, *provided the amount of salt solution injected is small in comparison with the volume of flow, and provided the measurements are carried out sufficiently far downstream from the point of injection.* Moreover, the injection should not be made at a place where the water is almost stationary.

The fact that concentrated solution of such inexpensive substance as ordinary cooking salt can be used in this method facilitates the practical performance of the measurements to a high degree. However, it is worth noting that for detailed studies of microturbulence the injected liquid must have the same density as the river water (cf. KALINSKE 1940).

#### PERFORMANCE OF THE MEASUREMENTS

Measurements by means of the salt-dilution method have been carried out at several places on Klarälven, as well as in several other Swedish rivers, e.g. Mörrumsån, Angermanälven, Öre älv, and Ume älv. The field equipment was adapted to the particular purpose in each case and to the local conditions, especially the water discharge and the pattern of flow, and has therefore varied considerably from case to case.



Fig. 1 — Injection of brine. Right: brine being pumped through a rubber tube into the water at a fixed depth (Klarälven 1953). Left: 5,000 l. brine being poured into the river from the bridge at Forsmo (Angermanälven 1954, photo L. ARNBORG).



*Injection of brine:* For small-scale experiments the brine was generally prepared in a stainless steel container. The salt concentration was usually c. 10%. The brine was either poured directly into the water, or pumped through a rubber tube with weights attached to keep the end at a fixed depth below the surface (fig. 1). For experiments on a larger scale the solution was prepared in one or more 200 litre containers, which were subsequently emptied directly into the river. In two cases the amount of salt solution injected was as much as 5,000 liters 10% brine. On one of these occasions a wooden container was mounted on a lorry, from which the brine was poured into the river from a bridge (fig. 1.)

*The measurements:* The conductivity of the water during the passage of the salt wave was measured with the instrument shown in fig. 2. The electrodes have already been described. They were mounted on a 12 kg lead weight, which could be lowered to the desired depth. The electrodes were coupled to a soil-resistance meter.



Fig. 2 — The electrodes consist of silver plates with an area of c. 50 cm<sup>2</sup>, embedded in 6 mm thick bakelite plates and mounted on a 12 kg lead weight. The distance between the silver plates can be varied.

In order to investigate the turbulent diffusion in the river it was necessary to carry out measurements at a large number of points on transverse sections downstream from the point of injection. The best way to do this would have been to have simultaneous recording at a number of points, but the available equipment did not permit this. Instead, the same amount of brine was injected many times at the same point, while the measurements downstream were carried out at successive points. Subsidiary experiments were carried out to check the reproducibility of the spreading process.

When the distance between the injection point and the section for measurements was so large that the salt wave took more than 5 min to pass, the measuring apparatus was sometimes made mobile. The boat from which the measurements were made moved backwards and forwards along a marked line in the transverse section, and meanwhile time, position, and resistance were steadily noted. A similar method was used in some cases when measurements were carried out from a bridge.

## TREATMENT OF THE DATA

A graph of concentration vs. time was constructed from the primary data for each point where measurements were taken. This graph differs from point to point, depending on how the salt solution had spread out by the time it reached the measurement section. From these separate graphs it was then possible to construct a graph of concentration vs. time for the entire section, showing the passage of the salt solution across the section (see figs. 3, and 4).

From a knowledge of the concentration diagram at a particular point and the flow velocity there it is easy to calculate the total amount of primary salt solution passing through unit area perpendicular to the flow. The calculation of this quantity for each point where measurements were made gives the spread of salt solution in the transverse section. A diagram of the section with interpolated lines through points where the same amount of salt solution passed gives the probability that water particles passing through the point of injection subsequently passed through different parts of the section where measurements were made (see fig. 5).

## SOME RESULTS FROM VARIOUS LOCALITIES

Fig. 3 shows the results of salt-dilution measurements in the stream Rutjebäcken near Rönäs on the lake Tängvattnet in Tärna parish (in the basin of Ume älv). Brine was injected at a point just downstream from the waterfall visible in the photograph, 5 m from the western bank of the stream. Measurements were made from the road bridge 147 m downstream from the point of injection. The stream is c. 25 m wide on this stretch, and the fall even, 0,82 m in all. The bed of the stream consists of boulders and stones, with the largest boulders projecting above the water surface at the time of the measurements.

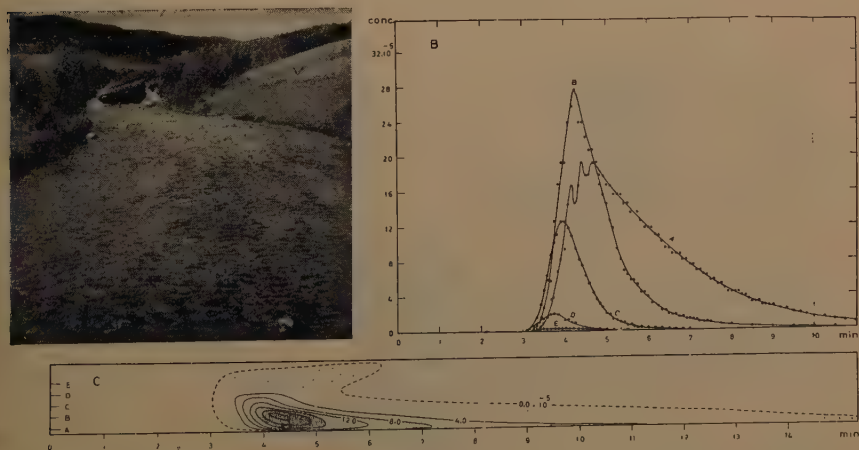


Fig. 3 — Salt-dilution measurements in Rutjebäcken 1954. Upper left: photo from the stretch investigated. Upper right: graphs of concentration vs. time for the five measuring points. The figures for concentration indicate the concentration of the primary salt solution during the passage of the salt wave. Lower sub-figure: the passage of the salt wave past the measuring section.

The sub-figure on the upper right shows the graphs of concentration vs. time for the points A, B, C, D and E. Each of them has the shape typical of such graphs: first a fairly rapid rise in the concentration when the salt wave reaches the measuring point, followed by a slower fall of the concentration finishing in a long «tail».

The passage of the salt wave is more clearly illustrated in the lower sub-figure. The positions of the measuring points are shown on the left. A is approximately 2 m from the left bank. The other points are at intervals of 4 m. It may be seen that the first trace of salt reaches the section at point C 3 min after injection. The average flow velocity for the salt solution was 82 cm/sec. The crest of the salt wave, i.e. the highest concentration of salt, reached the section after 4 min 15 sec (average velocity 58 cm/sec). The salt concentration remained quite high near the left bank still 10 min after injection. The average velocity of the corresponding salt solution was less than 25 cm/sec.

The most surprising feature of the spread diagram is the lateral narrowness of of the concentration peak. In spite of the eddies in the rapidly moving stream, there was relatively little lateral smoothing-out of concentration differences. Near the right bank there were only negligible traces of salt solution. There is also a noticeable tendency for the salt wave to lag behind near the banks, on account of the lower flow velocity there; the salt wave has a pointed front in the central part of the stream.

Fig. 4 shows the pattern of flow through Sandslan's log-sorting works where Angermanälven runs out into the sea-inlet Nylandsfjärden. The upper figure is a plan view of the sorting station, and the lower figure a map of the storage pond in detail, together with the spread diagram for the salt wave. This particular investigation was undertaken to determine the effect of the storage pond on flow conditions

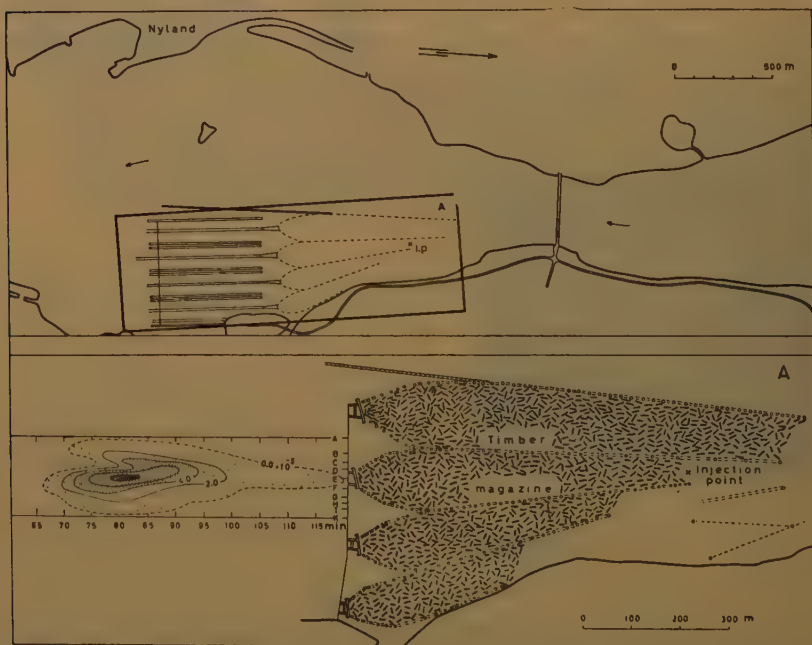


Fig. 4 — Salt-dilution measurements in Angermanälven at the log-sorting works at Sandslan. Further explanation in the text.

by making measurements for different volumes of flow and different amounts of timber in the pond, and thereby to estimate the significance of timber for sedimentation in that part of the river.

Brine was injected upstream from the storage pond (see fig. 4). Measurements were made 700 m from the injection point along a boom immediately downstream from the storage pond. The first traces of the salt solution were detected after 1 hr 6 min, corresponding to a flow velocity of 18 cm/sec. The highest concentration occurred after 1 hr 20 min (velocity 15 cm/sec), and the last traces of the salt solution disappeared after 2 hr (velocity 10 cm/sec). The lateral spread was 155 m, corresponding to an angle of spread of  $12.6^\circ$ .

There are small irregularities in the spread diagram, probably caused by rows of poles and the logs. Apart from these irregularities the diagram is more symmetric than in the preceding case. It is typical for a situation with two-dimensional flow, i.e. flow where edge effects due to the river shores may be neglected. In contrast to the former case the salt wave is most elongated near the centre. The spread diagram may be described as eggshaped, with the pointed end directed backwards. Moreover, the total spread in the direction of flow is less than in the preceding case, and is entirely due to the lower flow velocity near the bottom and near the floating timber.

#### APPLICATION OF THE SALT-DILUTION METHOD FOR ESTIMATING THE SEDIMENTATION OF SUSPENDED MATERIAL

Measurements by the salt-dilution method provide a clear picture of the turbulent diffusion in a river. But as regards the quantitative evaluation of the results, it is a very complex theoretical problem to derive from the measurements the value of some parameter which may represent the intensity of the turbulent mixing. The theoretical problem is even more complicated for a river, where there are edge effects, than in the atmosphere, for instance. In this connection it may be called attention to the measurements of the spread of smoke and gas in the atmosphere that have led to valuable results concerning turbulent diffusion in the lower atmosphere (cf. SUTTON 1953).

But it may also be contended that a knowledge of the general manner in which the turbulent diffusion occurs is as important as, for instance, numerical values of the widely varying transfer coefficient for matter. Salt-dilution measurements show the velocity characteristics of the flowing water, and so of the suspended matter, and they indicate the lateral diffusion and the retardation of flow near the shores or in regions of calm water. Their significance for the study of sedimentation is thus evident. The method can also be used to determine how pollution spreads from outlets flowing into a river. In many cases it may be desirable to see whether water from one point in a river can reach another point downstream from the first.

Under certain conditions it is possible to study turbulent diffusion in a river by conductivity measurements without injecting brine, for instance, where two streams with different salt contents join. The mixing process may be observed by measuring the conductivity in transverse sections downstream from the junction, and the effects of variations in salt content, temperature, and difference in suspended load between the affluent streams can be studied.

The possibility of obtaining a quantitative estimate of sedimentation in a part of a river, lake, or reservoir is of course of particular interest. It was stated that the sedimentation on a relatively regular stretch of a river could be obtained from eq. (2) if certain simplifying assumptions were made. In order to be able to apply eq. (2) it is necessary to know the time  $t$  during which the water has been in motion along the stretch in question. The author has made use of a concentration vs. time graph



constructed from salt dilution measurements on the particular stretch of river in order to determine  $t$ . The numerical value of  $t$  is not a fixed one by this procedure; instead  $t$  is given in the form of a function that corresponds to the concentration vs. time curve. The computation of the sedimentation then becomes a matter of graphical integration. An example is given in fig. 5.

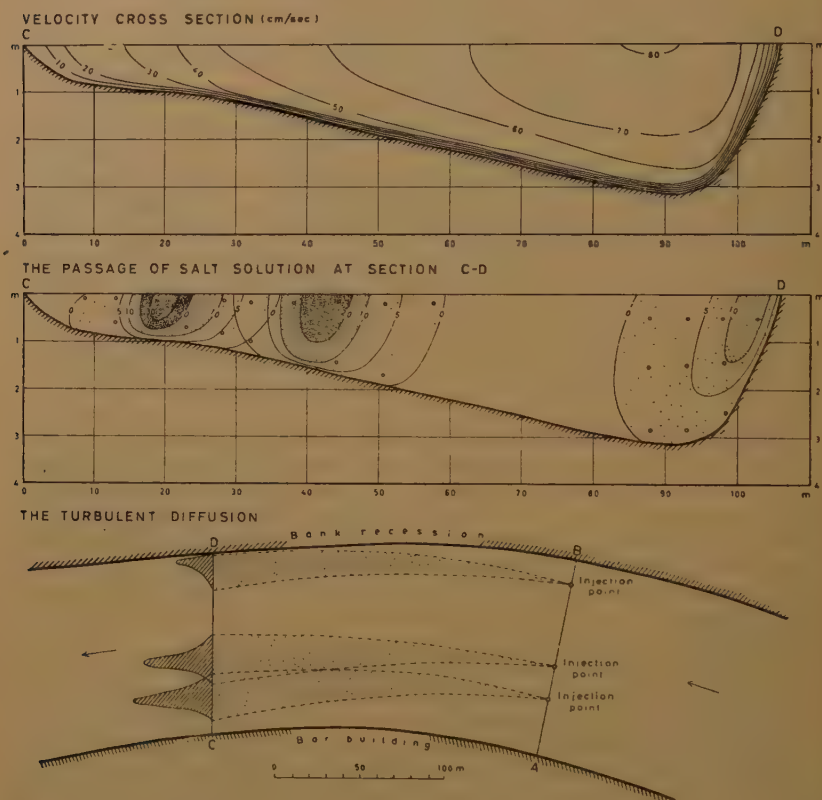


Fig. 5 — Flow velocity in a transverse section between Baskenäs and Ändenäs on the river Klarälven and salt-injection measurements at the same locality. The figures in the middle sub-figure show the relative amounts of salt solution passing each unit cross-sectional area. Further explanation in the text.

We assume that the water which passes the two injection points nearest A in the section AB contains the same average amounts of sediment of various grain sizes in each case, and that the vertical distribution of sediment concentration is in temporary equilibrium. How much of the material has been deposited by the time the water reaches C-D? We will not take into account the lateral exchange, but will treat the problem two-dimensionally, with direct application of equation (2).

Calculation in accordance with (2) of the amount of material in various fractions deposited under the actual flow conditions leads to the values presented in table 1.



TABLE 1

*Residual sediment content in the water at section C-D in percent of the content at section A-B.*

Position	Grain size (mm)			
	0.002	0.006	0.02	0.06
Close to the shallow side	99.84	98.30	82.70	3.02
20 m nearer the main channel	99.95	99.40	93.54	33.90

The figures clearly show that the sedimentation is more rapid nearer the shallow side, and how this gives rise to a marked lateral concentration gradient, especially for the coarser fractions. The actual differences in concentration would be greater on account of the more rapid take-up of material nearer the main channel.

The process must attain a state of equilibrium where the more rapid sedimentation near the shallow side is partially compensated by the supply of further material from the main channel via lateral exchange. The greater the differences in the flow conditions in adjoining parts of a transverse section of the river, the greater the lateral gradient of the concentration of sediment will be, and the more rapidly suspended material will move towards the sedimentation side. This is one of the reasons for the rapid growth of point bars at high water.

It may seem that the computation of sedimentation with the help of eq. (2) or some other formula is a matter of purely technical interest. But the possibility of estimating where and to what extent sediment will be deposited in an actual river or other body of water will of course improve our knowledge of the morphology and stratigraphy of sediments in relation to the environment in which they were laid down.

It may be noted that the well known logarithmic reduction of the thickness of a deposit in the direction of transportation finds a natural explanation from eq. (2). Likewise, the gradual decrease of the grain size in the direction of transportation is also apparent from the equation, as well as the distribution of a mineral with a settling velocity differing from that characteristic of the particular grain size, e.g. heavy minerals.

The author hopes to return to those questions on a later occasion, when more data have been gathered together for testing the assumptions underlying eq. (2).

#### BIBLIOGRAPHIE

- AASTAD, J., and SÖGNET, R., 1952 : Wassermengenmessung mit Hilfe von Salzlösung. « Die relative Verdünnungsmethode » (typewritten). Norges Vassdragsvesen. Oslo.
- CARLSON, E. J., and MILLER, C. R., 1956 : Research needs in sediment hydraulics. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, vol. 82, New York.
- ERIKSSON, J. V., 1929 : Den kemiska denudationen i Sverige. *Medd. Stat. Met. Hydr. Anst.*, vol. 5, no. 3, Stockholm.
- HJULSTRÖM, F., 1935 : Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. *Bull. Geol. Inst. Upsala*, vol. XXV, Uppsala.
- KALINSKE, A. A., 1940 : Experimental studies of liquid turbulence. *Univ. Iowa Stud. Eng., Bull.* 20, Iowa City.
- SUNDBORG, A., 1956 : The river Klarälven. A study of fluvial processes. *Geogr. Ann.*, vol. 38, Stockholm.
- SUTTON, O. G., 1953 : Micrometeorology. McGraw-Hill, New York.

# TRANSPORTS SOLIDES EN ITALIE

présentée par M. GHERARDELLI  
au nom de M. FROSINI

M. Frosini, qui n'a pas pu venir ici, m'a confié la tâche de présenter cette note.

J'essayerai — pourtant — d'interpréter sa pensée sur la question de l'érosion du sol et du transport solide des cours d'eau, tel qu'il se présente dans les bassins italiens.

Le Service Hydrographique a relevé — depuis beaucoup d'années déjà — le transport solide par suspension, dans plusieurs cours d'eau. Ce transport est très variable d'une région à une autre.

Les formations cristallines des Alpes ne fournissent pas beaucoup de matériaux aux cours d'eau par rapport aux formations sédimentaires des Appennins. L'Adige — aval de Vérone — a un charriage (par suspension) très limité, 88 tonnes de matériel solide par Km<sup>2</sup> et par an; c'est-à-dire — par rapport au débit liquide — 0,13 Kg par m<sup>3</sup> d'eau.

Le Pô à Pontelagoscuro, c'est-à-dire à la clôture de son bassin versant, a un transport solide de 200 tonnes par Km<sup>2</sup>, autrement dit 0,28 Kg par m<sup>3</sup> d'eau. Le transport est dû en grande partie aux affluents de droite, du versant des Apennins. Par exemple, un de ses affluents, le Panaro, a un transport de 2170 tonnes par Km<sup>2</sup>, mais il est battu par le Lamone et le Savio — petits cours d'eau de la Romagne — avec 2860 et 3380 tonnes par Km<sup>2</sup>.

Un peu plus résistant est l'Appennin du Centre Italie : l'Arno et le Tibre ont un transport de l'ordre de 400 + 500 tonnes par Km<sup>2</sup>. Certaines rivières de l'Italie du Sud sont parfois de véritables rivières de boue. Le Bradano n'a que 2160 tonnes par Km<sup>2</sup> de charriage : mais son débit liquide est très faible; ce transport-là représente le chiffre de 14 Kg par m<sup>3</sup> d'eau, en moyenne, par an : la moyenne du mois d'octobre monte à 36 Kg par m<sup>3</sup>.

On peut observer que les travaux de bonification qu'on a entrepris depuis longtemps, et qui sont aujourd'hui la base de la politique italienne, notamment dans l'Italie du Sud, tendent effectivement à limiter ce phénomène. Il faut reconnaître pourtant que certains bassins sont plus sensibles à nos remèdes : d'autres sont plus rebelles. Certains phénomènes de dégradation du sol appartiennent au domaine des faits géologiques : les travaux humains ne sont pas assez puissants pour les empêcher.

Un exemple impressionnant est celui connu sous le nom de « nubifragio di Salerno » du 25-26 octobre 1951. J'ai ici quelque extrait d'une monographie de M. Frosini, qui est, à Votre disposition. On a vu descendre des flancs entiers des collines et des montagnes, avec tout ce qu'ils portaient : maisons, forêts. Même les forêts, avec tout le terrain qu'elles enveloppaient entre les racines. Elles avançaient, debout, comme dans Macbeth.

D'autres bassins, au contraire, ont été transformés par l'oeuvre de l'homme. Le bassin de l'Arno, par exemple est aujourd'hui un jardin : mais la vigne et l'olivier dont il est revêtu ont coûté la sueur de beaucoup de générations de paysans. La bonification est en cours en certains points jusqu'ici plus rebelles, mais elle va s'achever avec succès.

Des experts, toutefois, pensent qu'on ne peut pas toucher un équilibre naturel sans causer une sorte de mouvement varié qui précède un autre équilibre. A courte ou longue échéance la diminution du transport solide doit se manifester avec quelque

changement de régime. En effet, l'Arno, par exemple, a une tendance à creuser son lit. Du moment que ses collines ne lui donnent plus à manger à suffisance, il mange de soi même.

Des plages maritimes sont en érosion : la mer avance. Les eaux douces n'ont plus une arme puissante de défense contre la mer, qui était précisément le transport des matériaux.

Certainement les intérêts continentaux l'emportent sur ceux maritimes. Il n'est pas le cas d'arrêter l'oeuvre de bonification pour défendre les plages qui peuvent être défendues par d'autres travaux. Mais du point de vue géophysique, on peut bien considérer une corrélation entre les deux faits, car à chaque érosion correspond une déposition.

J'espère avoir fidèlement interprété la pensée de M. Frosini.

Merci.

# EVALUTION DE L'ÉROSION EN TUNISIE

PAR LA MÉTHODE HYDROLOGIQUE

PÉRIODE 1953-1956

J. TIXERONT

*Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées  
Chef du Service de l'Hydraulique et des Aménagements Ruraux  
du Ministère des Travaux Publics*

&

E. BERKALOFF

*Géologue, Ingénieur I. S. G. S.  
Chef du Bureau d'Inventaire des Ressources Hydrauliques et  
Chef du Bureau d'Etudes Climatologiques et Géophysiques de Tunisie*

## RÉSUMÉ

L'observation du transport de sédiments faite en Tunisie au cours des trois dernières années, permet de définir plusieurs régimes d'érosion correspondant à :

- La région Nord qui reçoit plus de 700 m/m de pluie par an.
- Le région Centre.
- La région Sud.
- Régimes intermédiaires.

Des renseignements chiffrés permettent de caractériser ces différents régimes et d'en tirer des conclusions pratiques en ce qui concerne la protection des sols et le dévasement des barrages.

## 1. MÉTHODES

L'évaluation de l'érosion par la méthode hydrologique est basée sur l'étude du transport des sédiments par des cours d'eau. Les recherches de cette nature profitent de toutes les observations faites depuis une vingtaine d'années, aux différents postes du réseau hydrométrique tunisien. Les observations recueillies se trouvent archivées d'une manière systématique, au Bureau des Ressources Hydrauliques, qui publie depuis 1949, tous les ans le « Recueil des Observations Hydrométriques (1) ».

Les résultats des observations antérieures au 1<sup>er</sup> septembre 1953, ont été résumés déjà par nous en 1954, devant l'Assemblée Générale de l'U. G. G. I. à Rome (2).

Le présent travail expose surtout les travaux plus récents.

## 2. RENSEIGNEMENTS NUMÉRIQUES SUR LA PLUVIOMÉTRIE ET LE DÉBIT DES COURS D'EAU

Nous résumons les renseignements pluviométriques sur les bassins étudiés, par deux tableaux : 1 et 2; ceux concernant le débit liquide et solide des cours d'eau, par les tableaux 3 et 4.

TABLEAU 1

Classement des Bassins d'après la hauteur annuelle moyenne des précipitations de la période 1900-1940

Cours d'eau et postes de jaugeage	Superficie du bassin en Km <sup>2</sup>				
	Total	Répartition des versants Par zone recevant de :			
		100 à 300 m/m	300 à 500 m/m	500 à 700 m/m	plus de 700 m/m
<i>El Lil</i> au barrage	108	0	0	0	108
<i>Kasseb</i> poste B-11	101	0	0	5	96
<i>Rhezala</i> poste B-20	138	0	0	15	123
<i>Medjerdah</i> en Amont de Ghardimaou	1490	0	2	440	1040
<i>Medjerdah</i> moyenne entre S. El Khemis et Medjez	4570	0	1981	1967	621
<i>Kébir</i> à Sidi Aouidat	225	0	47	178	0
<i>Miliana</i> à la Madeleine	1750	0	1173	557	0
<i>Nebaane</i> à Sidi Messaoud	855	0	607	248	0
<i>Mellègue</i> au K 13	9014	0	7905	1060	49
<i>Zeroud</i> à Sidi Saad	8950	4180	4090	680	0

TABLEAU 2

Hauteur moyenne et annuelle des précipitations à trois postes typiques, exprimée en m/m

STATIONS	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Année
	Période de 1900-1940												
Aïn Draham	66	144	202	269	263	212	163	126	85	30	5	9	1575
Bargou	45	45	56	69	86	86	74	54	40	17	8	14	595
Sbeitla Hir Touil	31	39	29	18	19	20	39	28	30	23	9	25	310
	Période de 1953-1956												
Aïn Draham	114	226	257	247	259	298	189	138	59	4	0	22	1813
Bargou	91	77	47	56	73	74	76	141	35	11	2	14	697
Sbeitla	33	46	18	11	8	14	19	41	40	7	3	37	273
	Période de 1950-1954												
Sbeitla	36	99	20	18	14	5	45	35	55	20	22	16	385



TABLEAU 3

*Transport des sédiments et écoulement liquide observés*

Cours d'Eau	Bief et Postes d'observation	Transport en tonnes par Km <sup>2</sup> en		Ecoulement en	
		Solution	Suspension	m/m	% de la Moyenne GleAdm.
	<i>Période 1943-1953</i>				
<i>El Lil</i>	Barrage	109	—	545	—
	<i>Période 1953-1956</i>				
<i>Kasseb</i>	Amont B - 11	151	139	603	113
<i>Rhezala</i>	Amont B - 20	173	150	424	110
<i>Medjerdah</i>	Amont Ghardimaou	100	593	136	90
<i>Medjerdah</i>	Entre Souk El Kemis et Medjez	132*	1490*	85	154
<i>Kébir</i>	Amont Sidi Aouidat	83	1430	67	155
<i>Miliane</i>	Entre le Barrage du Kébir et Madeleine	69	—	36	—
<i>Nébaana</i>	Amont Sidi Messaoud	29	970**	37	—
<i>Mellègue</i>	Amont K - 13	27	442	14	80
	<i>Période 1950-1954</i>				
<i>Mellègue</i>	Amont K 13	31	633	20	125
<i>Zeroud</i>	Amont Sidi Saâd	29	512	14	—

(\*) Calculé par différence entre Medjez El Bab et Souk El Kemis.

(\*\*) Lacune en 1953-1954, corrigée par comparaison avec l'Oued Kébir.

Le classement des bassins versants, suivant la hauteur annuelle moyenne des précipitations indiquée par le tableau 1, correspond à la carte des précipitations de MM. Gaussen et A. Vernet se rapportant à la période de 1900-1940.

Le tableau 2 précise les moyennes mensuelles et annuelles de deux périodes : 1900-1940 et 1953-1956, pour trois postes :

*Ain Draham* : Typique pour le Nord de la Tunisie, recevant plus de 700 millimètres, par an, de pluie, en moyenne.

*Sbeitla* : Caractéristique pour le Centre, avec 300 millimètres, par an, en moyenne.

*Bargou* : Se rapportant au régime intermédiaire entre les deux précédents.

Le tableau 3 résume les principaux résultats obtenus depuis 1940 sur le transport moyen, annuel, des sédiments en suspension, et des sels dissous par les cours d'eau.

Le tableau 4 précise les moyennes mensuelles d'écoulement liquide, de dissolution et du transport des matériaux en suspension, correspondant à la période d'observations de : 1953-1956, pour trois cours d'eau typiques qui sont :

TABLEAU 4

Période : 1953-1956

*Ecoulement, dissolution et transport solides en suspension*  
*Moyennes mensuelles et annuelles*

Cours d'Eau	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Année
<i>Ecoulement en m/m de tranche d'eau sur la superficie du bassin</i>													
Rhezala	1	22	28	52	79	157	44	28	10	2	1	0	424
Kébîr	6	4	4	2	16	7	5	16	4	1	1	2	67
Mellègue	3	4	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	14
<i>Dissolution en tonnes par Km<sup>2</sup></i>													
Rhesala	2	8	17	18	29	52	23	15	8	1	0	0	173
Kébîr	7	6	6	4	11	13	8	16	6	3	1	2	83
Mellègue	3	5	3	1	2	2	1	3	3	2	1	1	27
<i>Transport en suspension en tonnes par Km<sup>2</sup></i>													
Rhezala	0	1	6	49	25	56	8	7	0	0	0	0	150
Kébîr	351	81	110	1	493	13	9	238	12	0	0	124	1430
Mellègue	79	148	45	1	2	1	0	20	58	33	0	55	442

*Oued Rhézala* : Correspondant aux régions boisées du Nord.

*Oued Mellègue* : Représentatif pour le Centre tunisien.

*Oued Kébîr* : Provenant des versants Nord, plus ou moins dénudés, de la dorsale avec régime pluviométrique voisin de celui du Bargou.

D'une façon générale le prélèvement des échantillons d'eau à fin d'analyse a été fait par immersion à la main de bouteilles ordinaires à 0,1-0,2 mètres de la surface.

Tous les échantillons prélevés étaient soumis aux mesures de résistivité électrique et de densité en vue de la détermination de la quantité des matières en dissolution et en suspension dans l'eau.

De plus les échantillons jugés les plus significatifs étaient transmis au laboratoire du Ministère des Travaux Publics en vue de l'analyse chimique.

Cette façon de procéder, qui nous a permis de quintupler au moins le nombre d'échantillons examinés par rapport aux années précédentes, nous était imposée par raison d'économie.

### III. RÉGIMES D'ÉROSION

L'examen rapide des tableaux permet de reconnaître l'existence de plusieurs régimes d'érosion.

1. — *Régions boisées du Nord* recevant en moyenne plus de 700 millimètres d'eau météorique, par an, avec une saison pluvieuse prolongée et un seul maximum pluviométrique, qui se situe en hiver.

La dissolution y est active et l'érosion reste insignifiante tant que la couverture végétale reste intacte. Malheureusement le défrichement y est en progression.

Les vallées de l'Oued El Lil, et du Rhézala sont dans ce cas.

2. — *Centre tunisien* recevant en moyenne de 300 à 500 millimètres d'eau par an avec deux maximum pluviométriques : ceux d'automne et du printemps.

Les versants montagneux y sont couverts de brousse de pins très fortement dégradée, et les cultures de céréales y s'étalent en plaine.

L'érosion est active dans cette région et se manifeste avec intensité accrue en automne. Les vallées du Mèllègue et du Zéroud sont dans ce cas.

3. — *Sud tunisien* avec une végétation encore plus dégradée que celle du Centre et recevant en moyenne moins de 300 millimètres d'eau par an.

On ne possède pas encore de renseignement chiffré valable sur l'amplitude de l'érosion fluviale dans cette région.

Mais les trois quarts de superficie de cette région étant occupés par des bassins fermés sans écoulement d'eau vers la mer, le ruissellement et par suite l'érosion y sont très faibles.

4. — *Zones intermédiaires du Nord* à régime pluviométrique intermédiaire entre celui des forêts du Nord et du Centre tunisien.

Elles reçoivent en moyenne de 300 à 700 millimètres d'eau par an avec le maximum pluviométrique hivernal ou trois maximum, ceux d'automne, d'hiver et du printemps plus ou moins prononcés.

C'est la région économiquement la plus productive de la Tunisie, où les céréales occupent de grandes surfaces.

L'érosion y est intense et active toute l'année, excepté l'été.

L'Oued Kébir et les vallées tributaires de la moyenne Medjerdah appartiennent à cette région.

*Remarques* : Un examen plus attentif des tableaux 3 et 4 nous apporte la confirmation numérique des faits antérieurement pressentis concernant l'érosion et la dissolution :

1. — Les zones sujettes à la plus forte érosion sont les zones de l'Oued Kébir et de la Moyenne Medjerdah, à pluviométrie comprise entre 300 et 700 m/m par an. L'érosion y dépasse 1.400 tonnes par an et par kilomètre carré en moyenne.

2. — Les zones à forte dissolution sont les plus pluvieuses de la Tunisie; par exemple les vallées de l'Oued El Lil, du Kasseb et de Rhézala.

L'ablation par dissolution y dépasse 100 tonnes par an et par kilomètre carré.

3. — L'érosion et la dissolution sont d'autant plus actives que les précipitations et par suite le ruissellement, sont plus forts.

Ainsi quand on passe de la vallée moyenne de la Medjerdah à celle du Mèllègue, le ruissellement diminuant dans la proportion de 6 à 1, la dissolution varie dans le rapport de 5 à 1, l'érosion dans le rapport de 3 à 1 (voir tableau 1).

Autrement dit l'érosion régresse moins rapidement que le ruissellement avec la diminution de la pluviosité.

4. — L'érosion est annihilée par la couverture végétale permanente et dense.

Ainsi dans la vallée de l'Oued Rhézala couverte de forêts, avec quelques clairières et recevant plus de 700 millimètres de pluie par an, l'érosion a été de 150 tonnes seulement par kilomètre carré et par an.

Dans la vallée voisine de la haute Medjerdah, l'érosion a déjà une valeur plus que triple : le défrichement ayant progressé davantage.

Cette constatation est à rapprocher des observations faites en Algérie de 1953 à 1956, dans la vallée de l'Oued Agrioune, entièrement dénudée, où l'érosion a atteint 8.000 tonnes par Kilomètre carré <sup>(3)</sup> et par an en moyenne, sous un climat semblable à celui du Rhézala. La différence paraît principalement attribuable à la différence de végétation.

5. — L'érosion est atténuée par le développement des plantes annuelles et des herbes.

Ainsi, dans la vallée de l'Oued Kébir, l'érosion du printemps est presque trois fois moins intense que celle d'automne à précipitation égale : les pluies d'avril rencontrant une végétation en pleine vigueur, celles d'août-septembre tombant sur des labours et sur les sols dénudés.

#### IV. CONCLUSIONS PRATIQUES

De tout ce qui précède, on peut déduire des conclusions pratiques :

A. — *Lutte contre l'érosion.* La saison critique au point de vue de l'érosion est l'automne quand les premières pluies tombent sur le sol préalablement dénudé par le repos estival.

Par suite, la conservation, en place pendant l'été, jusqu'en fin d'automne, des chaumes et des restes d'herbe desséchée, sera à préconiser surtout dans le Centre tunisien où les pluies d'automne sont prépondérantes.

Cette remarque vient à l'appui de plusieurs autres contre l'usage sans discrimination de certaines pratiques de « dry farming » en Tunisie.

B. — *Conservation de capacité de retenue des barrages :*

1° — Dans les régions boisées et humides du Nord qui forment le véritable château d'eau de la Tunisie, l'envasement des barrages existant ou à construire ne sera pas à redouter tant que la couverture végétale pourra être respectée. Donc des mesures de protection appropriées sont à prendre dans cette région, faute de quoi, l'érosion y pourrait atteindre des valeurs élevées et même, dans beaucoup de cas, catastrophiques.

2° — Ailleurs les opérations de dévasement sont à envisager.

Mais ces opérations faites par chasses d'eau boueuse, pour être efficaces, doivent coïncider dans le temps avec le maximum d'apport des sédiments.

Elles sont gênantes pour l'irrigation en aval des barrages.

Pour ces raisons :

a) *le Nord de la Tunisie*, se prête bien en hiver aux opérations de dévasement : la végétation n'ayant pas besoin d'irrigation pendant les crues se produisant en cette saison.

b) *le Centre* se prête moins bien que le Nord au dévasement qui doit être tenté en automne, quand la végétation a encore besoin d'irrigation.

c) *Le Sud* se prête mal aux opérations de dévasement : la végétation ayant toujours besoin d'irrigation et la quantité de boue à évacuer par unité de volume d'eau emmagasinée étant plus forte que dans le Centre et surtout le Nord de la Tunisie.

#### BIBLIOGRAPHIE

- (1) « Recueil des observations hydrométriques » publié annuellement depuis 1949 par le Bureau d'Inventaire des Ressources Hydrauliques du Ministère des Travaux Publics à Tunis.
- (2) J. TIXERONT et E. BERKALOFF « Méthodes d'Etude et d'Evaluation de l'Erosion en Tunisie »  
« Association Internationale d'Hydrologie Scientifique » U. G. G. I. Assemblée Générale de Rome 1954.
- (3) « Recueil d'Observations d'Hydrologiques et Climatologiques — Kabylie des Babors » publié par l'Electricité et Gaz d'Algérie.

# BASSINS HYDROGRAPHIQUES





# SEDIMENT YIELDS FROM SMALL WATERSHED IN THE UNITED STATES

A. F. GEIGER

*Geologist, Central Technical Unit, Soil Conservation Service, USDA, Beltsville, Md.*

## ABSTRACT

A brief discussion of sediment load measurements and reservoir sedimentation surveys as used in the determination of sediment yields in the United States is presented. An outline of the available information and a map showing density of measurements and surveys by physical land units is included. Rates of sediment production from watersheds in the United States are presented and discussed in respect to the influence of climate, geology, topography, vegetation, and other factors within the watershed.

## INTRODUCTION

The principal methods used to determine sediment yields from watersheds in the United States are reservoir sedimentation surveys and suspended load measurements. Hundreds of reservoir surveys and thousands of sediment load measurements show a wide variation in sediment production from watershed to watershed. The most extreme variations seem to occur in the smaller watersheds — those of 100 square miles or less. Where possible, the discussions herein will be confined to those watersheds which have a drainage area of 100 square miles or less.

It would be impossible, because of time and monetary considerations, to measure sediment production from all watersheds where the information is needed for the efficient use of surface water resources. Therefore, it is important to understand the reasons why these variations in sediment yields of measured watersheds occur in order that sediment yields from unmeasured watersheds can be predicted with confidence.

## DEFINITION OF TERMS

Sediment yield is defined as the total sediment export from a watershed. It consists of that portion of the products of erosion which escape redeposition upstream from the point of measurement. Sediment yield includes both materials carried in suspension, termed suspended load, and material moved at the stream bottom by traction or saltation, termed bed load. It is usually expressed as a weight of sediment per year delivered to a given point in the watershed. Sediment production is usually expressed as tons per year per unit area.

Sediment delivery rate is the percentage relationship between annual sediment yield and annual gross erosion in the watershed. (Glymph, 1954).

The sediment trap efficiency of a reservoir is the percentage relationship between the sediment yield and the total amount of sediment retained therein. It is dependent upon a number of factors, among which are the ratio between storage capacity and water inflow of the reservoir, the shape of the reservoir, the grain size and shape characteristics of the sediments, the types of spillways and outlets, and detention storage time.

Rates of sediment production are influenced by four main interrelated factors. These are climate, geology, topography or geomorphology, and vegetation. These are inseparable from one another and are mutually controlled and modified. Since they are compound and complex factors and have no units of measurements in themselves, they must be broken down into their component parts for analysis.

Since sediment is the product of erosion, the factors which influence erosion must necessarily influence sediment yields. Rates of on-site erosion and rates of sediment yield are not numerically equal, however. Except in very small drainage areas, sediment yield rates are much smaller than erosion rates.

Hjulstrom's diagram (Hjulstrom, 1939) demonstrates the hydro-dynamic relationships among erosion, transportation and deposition of sedimentary particles. It applies only to free particles within the channel and would therefore bear relationship to sediment yields only indirectly through delivery rates. The seemingly anomalous upward trend of the contact between erosion and transportation to the left of the diagram is due to decreasing ability of particles to form eddies which concentrate energy upon themselves, as they decrease in size.

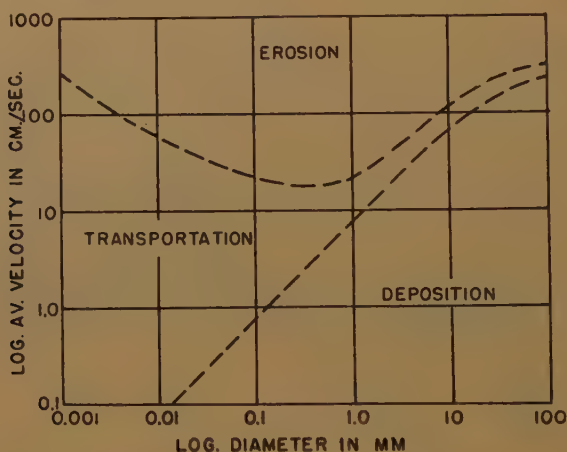


Fig. 1 — Hjulstrom's diagram of the relations among erosion, transportation and deposition of sedimentary particles. (Krumbein and Sloss, 1951).

Some of the factors which seem to have an influence on some or all phases of sediment production are listed below in outline form. All are themselves the products of one or more of the major factors listed above.

#### A. Soils

1. Organic Content
2. Mineralogical content
3. Texture and permeability
4. Parent material

#### B. Vegetation

1. Density
2. Type

3. Permanence
4. Growth stage

C. *Precipitation*

1. Form
2. Intensity
3. Amount
4. Duration
5. Sequence
6. Season, temperature

D. *Runoff*

1. Rate
2. Duration
3. Amount

E. *Watershed morphology*

1. Size and shape of watershed
2. Length and degree of land slope
3. Drainage density
4. Length of channels
5. Channel gradient
6. Shape and size of channels
7. Erodibility of peri-channel deposits

F. *Culture*

1. Tillage methods
2. Cropping intensities
3. Crop rotations
4. Fertility amendments
5. Range management
6. Contour farming and terracing
7. Waterway development
8. Channel stabilization and improvement
9. Reservoirs : detention or retention
10. Urbanization

The relative effect upon sediment production of the factors listed above varies from region to region and from watershed to watershed.

## RESERVOIR SEDIMENTATION SURVEYS

A reservoir sedimentation survey provides a complete record of the sediment yield from the drainage area above the reservoir for the period of time since the reservoir was completed. It includes sediment delivered both as suspended load and as bed load. However, in most cases, it is difficult or impossible to isolate the effects of individual runoff events or the effects of physical changes within the watershed, such as land use changes or periods of drought from long-term records. These difficulties can sometimes be overcome by periodic re-surveys. The results of a sedimentation survey must be corrected for trap efficiency. This will vary over a wide range, depending upon such factors as capacity-inflow ratio of the reservoir and the nature of the sediment being delivered. The procedures for making the trap efficiency correction have been described by Brune (1953).

Suspended load measurements provide a record of the sediment yield from individual runoff events and can be used to determine the effects of physical changes within the watershed. They have the disadvantage of being costly and of requiring long periods of time for the collection of reliable and adequate data.

Suspended load measurements do not ordinarily include bed load materials. Procedures for determining this fraction have been described by Einstein (1950). Sediment rating curves, constructed by plotting measured sediment discharge against stream discharge are used in conjunction with flow-duration curves to estimate sediment yields. Instantaneous sediment-rating curves are constructed from concurrent measurements of sediment discharge and water discharge for periods too short to be materially affected by changes in flow or concentration during measurement. These are likely to be the most suitable curves from which to determine the effects of different factors upon the relationships between sediment discharge and water discharge. Daily, monthly, annual and flood-period sediment rating curves can be expressed as average or total quantities of sediment and water discharges during the designated periods of time.

There are several methods which can be employed to estimate average sediment discharge for long periods of time. Most of these methods have been adequately described in the literature (Campbell and Bauder, 1940; Miller, 1951; Colby, 1956; Anderson, 1954, and others).

## DISCUSSION

Many reports of the sediment yields from various watersheds have been written which include a qualitative analysis of the sedimentation processes and sediment sources. However, in most cases, no quantitative analyses of these processes and sources have been made. Some quantitative analyses have been made which attempt to correlate sediment production with a single factor, such as runoff or cover density. Since sedimentation is controlled by multiple factors, analyses based on a single casual factor are not adequate in most cases for the degree of accuracy desired.

Anderson (1954) conducted a study in western Oregon which illustrates the types of study needed. He relates the response of sediment discharge to watershed variables of streamflow, soil, topography and land-use by regression analysis. The following relationships were established:

$$\log ss = -3.721 + 0.116 \log A + 1.673 \log FQ_p + 1.244 \log MA_q + 0.401 \log S + 0.0486 SC + 0.482 S/A + 0.0280 BC - 0.0036 OC + 0.942 R + 0.0086 RC$$

where  $ss$  = Suspended sediment in tens of tons per sq. mi. per year.

$A$  = Watershed area; sq. mi.

$FQ_p$  = Discharge peakedness — related to rock types, relative rain area frequency and relative snow-melt frequency; unitless.

$MA_q$  = Mean annual runoff; cfs/sq. mi.

$S$  = Slope of stream; ft./mi.

$SC$  = Silt and clay fraction of top six inches of soil; pct.

$S/A$  = Surface aggregation ratio—surface area of soil particles of sand and coarser size, divided by aggregate silt and clay; sq. Cm/gm pct.

$BC$  = Area of bare cultivation; pct. of watershed.

$OC$  = Other cultivation; pct. of watershed.

$R$  = Area in roads or railroads; pct. of watershed.

$RC$  = Forestland cut-over in last ten years; pct. of watershed.

Logarithms to the base 10.

A comparison of observed sediment discharge with discharges computed from the above equation is shown in Figure 2.

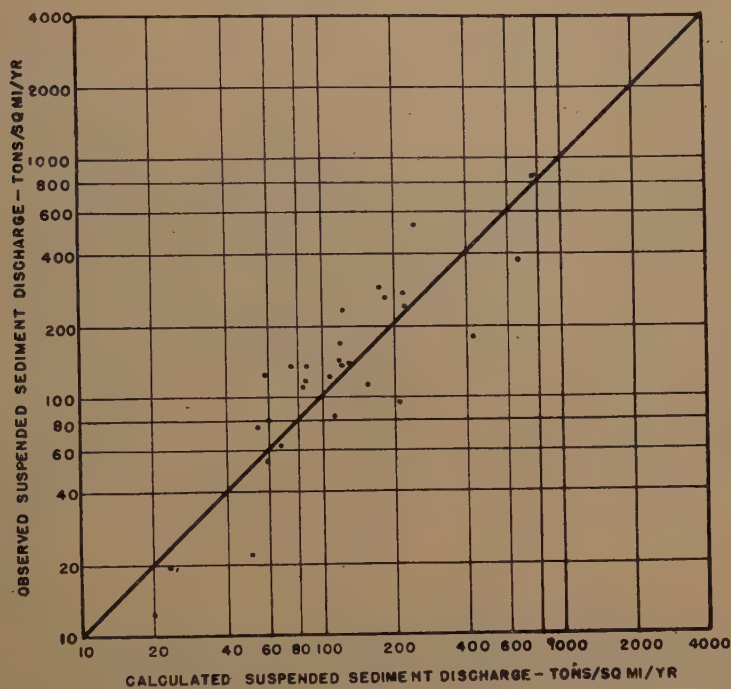


Fig. 2 — Comparison of observed suspended-sediment discharge with computed discharge for 29 watersheds in western Oregon.

This study, and those conducted by Gottschalk and Brune (1950) in the Missouri Valley Loess Hills; Maner and Barnes (1953) in the Texas Blackland Prairie, and several others (See Glymph, 1954) attempt to consider most of the causal factors. In most cases, further refinement is still desirable or necessary.

Before comparative studies of the effects of the various physical factors can be conducted on a nation-wide basis, more of these studies must be made within each region of generally similar physical characteristics. When methods have been devised whereby calculated and observed sediment yields for a region are within a tolerable margin of error, the prediction of yields from unmeasured watersheds will become a less disconcerting problem.

#### DENSITY OF MEASUREMENTS

Figure 3 is an attempt to subdivide the United States into regions of broadly similar geological, meteorological, geomorphological and botanical characteristics. Sediment yield data collected within each individual region have the potential value of furnishing information which could lead to the solution of the sedimentation problem within that region. The cross-hatching pattern shows the approximate average



# REGIONS OF GROSSLY SIMILAR PHYSICAL CHARACTERISTICS

## IN THE UNITED STATES

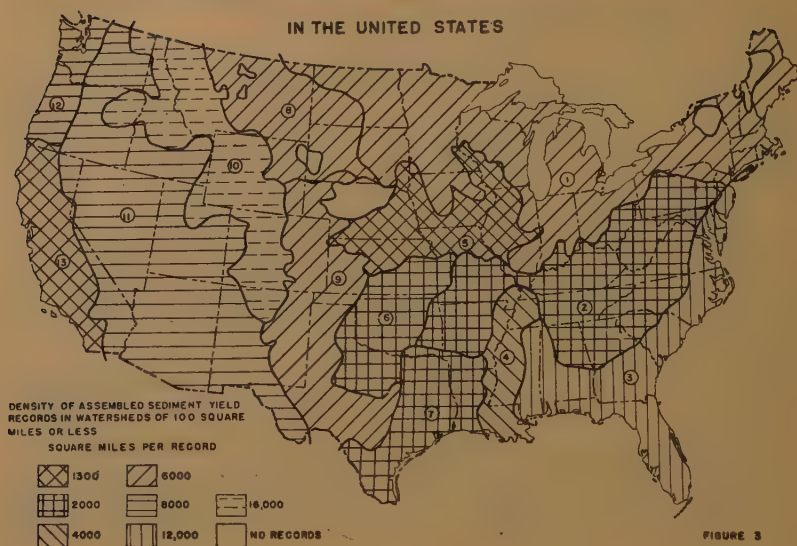


FIGURE 3

Fig. 3

TABLE 1

*Comparison of Sediment Yields*

Region	Number of Records Used	Average Sediment Yield Tons/sq.mi./yr.	Highest Recorded Yield Tons/sq.mi./yr.	Lowest Recorded Yield Tons/sq.mi./yr.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	36	590	1552	94
2	80	1010	3180	118
3	9	5500	9040	2370
4	14	16,950	30,400	3420
5	79	3025	5980	260
6	38	2200	6000	350
7	29	3175	7200	601
8	21	580	1478	174
9	21	620	1712	76
10	5	375	473	61
11	31	740	1830	50
12	6	165	375	80
13	37	1800	5200	130

density of available data on watersheds of 100 square miles or less in drainage area in each region. It is apparent that some regions are much better provided with sediment records than are others. Most of the assembled data is on sediment yield only and much work is still needed to collect the remaining information on soils, cover, topography, climate, and other factors needed for adequate analysis.

#### COMPARISON OF SEDIMENT YIELDS

Table 1 has been compiled to demonstrate the great variation in sediment-production rates from one region to another and within each region shown in Figure 3. Column (1) of the table refers to regions as numbered in Figure 3. Columns (4) and (5) are the highest and lowest actual sediment yields recorded in each region, exclusive of some extreme variations which are probably due to local conditions not typical of the region. Only those records reported in Bulletin 5, Subcommittee on Sedimentation, Inter-agency Committee on Water Resources, and which included volume-weight determinations of ponded sediments, were used in the tabulation. All are for watersheds of 100 square miles or less in area.

Where the number of samples is small, the average sediment yield indicated may be too high. This is due to the fact that problem areas within a single region are usually the first to be measured. Region 4, which includes the Mississippi Valley and bordering loess hills, is an example. All these records are from the steeply rolling and highly erodible loess hills.

#### CONCLUSIONS

Because of the extreme complexity of the processes of sedimentation, an overall view of the problem is inconclusive. The significance of any one contributing factor varies from region to region and within each region. Studies of the problem in more or less homogeneous land resource areas which have generally similar physical characteristics, appears to be the most logical approach.

There are many sediment yield records in the United States. However, many of them are incomplete or inadequate. There is a great need for more and better field work to study all of the physical characteristics of the watersheds where sediment yield data are being collected.

Subjecting the relationships of sediment yield and physical characteristics to statistical analysis, which provides a good tool for evaluating the relative influence of each of a large number of parameters, will lead to a better understanding of the problem. Good progress has been and is being made toward this objective in the United States.

#### REFERENCES

- ANDERSON, Henry W., Suspended Sediment Discharge as Related to Stream Flow, Topography, Soil, and Land Use. *Transactions American Geophysical Union*, Vol. 35, pp. 268-281, 1954.
- BRUNE, Gunnar M., Trap Efficiency of Reservoirs, *Transactions American Geophysical Union*, Vol. 34, pp. 407-417, 1953.
- CAMPBELL, Frank B., and H. A. BAUDER, A Rating-Curve Method for Determining Silt-Discharge of Streams, *Transactions American Geophysical Union*, Vol. 21, Part 2, pp. 603-607, 1940.
- COLBY, B. R., Relationship of Sediment Discharge to Streamflow, *Open File Report*, United States Geological Survey, 170 pp. April 1956.

- EINSTEIN, Hans Albert, The Bed-Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows, *Technical Bulletin* 1026, USDA, 71 pp. 1950.
- GLYMPH, Louis M., Jr., Relation of Sedimentation to Accelerated Erosion in the Missouri River Basin, U. S. Soil Conservation Service, *Technical Paper* 102, 23 pp. July 1951.
- GLYMPH, Louis M., Jr., Studies of Sediment Yields from Watersheds, *Publication No. 36, Tenth General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics*, Rome, Italy, 1954.
- GOTTSCHALK, L. C., and G. M. BRUNE, Sediment Design Criteria for the Missouri Basin Loess Hills, U. S. Soil Conservation Service, *Technical Paper* 97, October 1950.
- HJULSTROM, Filip, Transportation of Detritus by Running Water, *Recent Marine Sediments*, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, pp. 5-31, 1939.
- KRUMBEIN, W. C., and L. L. SLOSS, Stratigraphy and Sedimentation, W. H. Freeman Company, pp. 148-185, San Francisco, California, 1951.
- MANER, S. B., and L. H. BARNES, Suggested Criteria for Estimating Gross Sheet Erosion and Sediment Delivery Rates for the Blackland Prairies Problem Area in Soil Conservation, U. S. Soil Conservation Service, Ft. Worth, Texas, 1953.
- MILLER, C. R., Analysis of Flow-Duration, Sediment-Rating Curve Method of Computing Sediment Yield, U. S. Bureau of Reclamation, April 1951.

# SUMMARY OF THE MEASUREMENTS MADE IN HUNGARY OF SEDIMENT TRANSPORTATION, WITH SPECIAL REFERENCE TO THEIR QUANTITATIVE BEARINGS ON EROSION

J. BOGARDI

## SUMMARY

In Hungary the mechanism of erosion has not been made the subject of profound investigation. It was 1895, in the valley of the Tarna river, that research workers in forestry initiated observations concerned with erosion processes and the various factors affecting them. The problems of erosion in the narrower sense of the term, i.e. of loss of surface soil, are still dealt with by workers in forestry. Observations of the sediment transportation are made by the Water Board. Agricultural research workers and agronomists devote attention to the destruction of the soil as the seat of plant life. As a complex phenomenon, erosion certainly appears to justify joint efforts on the part of the various branches of sciences, but no such cooperation has so far been organized in Hungary, nor, to the best of our knowledge, anywhere abroad.

The paper proceeds to keep a brief account of the experience gained in Hungary in the afforestation of treeless sides, of the results hitherto achieved in controlling erosion, and of the research work in progress.

The Hungarian sediment transportation measurements are then discussed and summarized, stating the amounts of sediment transported by some individual water channels in the country.

A detailed description of the research work now being carried out on sediment transportation is followed by an informative table of erosion losses as calculable from the sediment transported by the rivers in Hungary.

In conclusion, a bibliography is attached of research work on by organs of the Water Board and the Board of Woods and Forests.

Sediment transportation by rivers has developed into an independent branch of hydrology. Its study involves of necessity the study of sediment formation, and since for its formation sediment depends on erosion, any research on sediment movement should indirectly include the erosion phenomena. As an incessant geohistorical process, erosion uninterruptedly produces, and provides rivers with, sediment. In pursuit of their respective aims, practically all branches of water management are out to restrain the amount of sediment carried by streams; this obviously means impeding the formation of sediment and, ultimately, keeping erosion effects under control. The bulk of sediment is produced on the slopes of the watershed, from which it follows that to check the amount of sediment carried, erosion in the catchment area must first of all be curbed.

In Hungary, hydrological research work has contributed little to the clarification of the problems of erosion. Much more attention has been devoted to them by investigators in forestry, and in some respects by workers in agriculture. Silviculturists were mostly the initiators of research on erosion. In the complex problem of this phenomenon several branches of science are involved, yet in this country there prevails a serious lack of cooperation between them; unfortunately, it even happens that data evolved or results achieved in one or the other branch remain unknown to the rest. Under these circumstances it is with great pleasure that we welcome the Committee on Erosion appointed by the Hydrological Association of the International Geodesical and Geophysical Union; we expect to benefit much from its activities. In our opinion, one of its primary aims should be the articulation into a harmonious whole of the work on erosion which at present suffers from lack of interrelatedness.



The present paper embodies an account of the results that have been achieved in investigations into, and measurements of, sediment transportation in Hungary, with particular stress on those with direct or indirect bearings on erosion.

However, before passing on to our immediate subject we should like, basing ourselves on data obtained from I. HÉDER of the Research Institute of Forestry, briefly to acquaint the reader with the achievements and the current work of our organs of forestry.

They began large-scale research in 1895 in the valley of the Tarna river on a bare and gullied stretch of 50 km covering about 4000 ha. By putting this area under timber and stabilizing the gullies, the bare portion was reduced to roughly 600 ha by 1914. Maintenance operations having ceased during the first World War, the entire area was left without protection, and largely because it was thrown open for grazing, the bare portion soon increased to 1700 ha. Renewed efforts made between 1930 and 1935 once more secured a reduction, bringing the bare portion down to a mere 100 ha by the end of 1944. However, the second World War and its aftermath having corrupted and destroyed the protective forests and installations, the barren area once again approached 3700 ha.

The lesson to be drawn from this history of the Tarna valley is that protective systems installed to control erosion must be kept up continuously, and under all circumstances in close cooperation between forestry and agriculture.

Forestral research centred primarily in methods of afforestation and means most expedient to put bare areas under timber. It is an established fact that owing to diverse local conditions a bare hillside or mountain slope divides into several articulated parts, of which each is of a different type and situated on a different level. Accordingly, the studies were extended to the question of how differences in the type of the parent rock affected afforestation undertaken with a view to controlling erosion. The points primarily considered in this connection were the preparation of soils, the methods and the species of trees and shrubs to be employed in putting each type under timber.

Widespread investigations were also carried out to establish the effect of forest belts. The most significant finding was that in their environment loss of land by erosion was generally less.

Current forestal investigations are chiefly concerned with the plantation of erosion-inhibiting forest belts and, in general, with the measurement and evaluation of the action of factors affecting erosion. Up-to-date equipment used in measuring runoff and eroded sediment, and in observing variations in weather conditions, will ensure reliable basic data for the determination of rates of erosion.

The publications of our research workers in forestry are listed in the bibliography attached to the present paper.

We may now return to our immediate subject. The first sporadic measurements of sediment transportation were made in Hungary about a century ago, but measurements on the modern basis were not begun until relatively late: in the period between the years 1935 and 1942. Those that have been made since, rest upon absolutely up-to-date theoretical and practical considerations and the latest empirical facts; they do seem to furnish a reliable basis for the determination of sediment transportation in our rivers.

Up to the present time measurements have been made regularly in 18 rivers at 48 stations. Of these the data of 30 stations on 12 rivers have been worked up completely, and those of 25 stations on 9 rivers have been published in various contributions and a comprehensive work, respectively. For every station the relations of sediment concentration and suspended and bed load to gauge height, discharge, and velocity, were established. The mean and extreme values of sediment concentration and weight of suspended as well as bed load were determined. The changes in the



mechanical composition of sediment were recorded. The correlations of sediment transportation to the hydraulic factors of flow were computed. In several instances the effects were studied which the rising, falling, and culminating gauge heights, and the individual seasons of the year, exerted upon sediment movement. Departing from novel conceptions, hydraulic relations were established between the values measured at the individual cross sections. Besides expressing the relationship of sediment concentration and weight to gauge height, discharge, and velocity, the hydraulic relations also expressed their mutual interrelations. The changes in the size of sediment particles and in the weight of suspended and bed load within individual cross sections and in the longitudinal profiles of rivers, were observed. Based upon the nature of bed material, investigations were initiated into the stability of natural streams.

A number of theoretical questions were studied, such as the distribution of sediment concentration over depth, the abrasion and quantitative diminution of bed load, and the variations of critical velocities. Attempts were made to devise novel sediment traps and samplers.

Many of our investigations on sediment were prompted by practical problems presented to us for solution by industrial and farming quarters. Several of them involved the study of questions concerned with settling.

Finally, attention has been given to sediment problems in dams, connected partly with the one recently built at Tiszlök, partly with others planned on the Tisza, and on the Danube at Visegrád.

It is a known empirical fact, repeatedly confirmed in the literature, that the instruments and methods in use for the measurement of suspended sediment are capable of yielding results as exact as those required in other hydrographical measurements. On the other hand, the means and methods of measuring bed load are still very far indeed from being exact. In recent times great efforts have been made everywhere to improve them, but so far no essential progress has been recorded. The lack of exactness and reliability of data is in some measure offset by the fact that in natural streams the volume of bed load is usually a mere fraction of that of suspended load.

Of course, the ratio of bed-load weight to suspended-sediment weight varies within very wide limits. It may substantially differ for the various stretches of the same river. In the Hungarian section of the Danube it varies between 200 and 1900, in that of the Tisza between 500 and 3500, and in that of the Hernád from 100 to 600. By way of approximation it may be stated that in the major Hungarian rivers the ratio of bed-load weight to suspended-load weight is about 100 on stretches of considerable slope, and about 1000 on those of moderate slope in lowland regions. This means that even in the steeply sloping upland sections of our rivers, where bed-load movement is considerable, the amount of bed load carried is only 1 per cent of the total amount of sediment transported.

Accordingly, for more extensive watersheds it is in most cases possible to determine the average erosion on the basis of suspended-sediment load, without the risk of committing a significant error.

*Table I* lists the results of measurements of sediment transportation done in 20 cross sections of 7 rivers. It presents the mean sediment concentrations for the years 1931-40, and the mean values in kg/sec for the weight of bed load and suspended sediment carried. Finally, it shows the highest sediment concentrations expectable at culminating gauge heights, and the probable maximum weights of bed load and suspended load transportable in the unit of time. The disposition of the 20 gauging stations on the 7 rivers is illustrated in *Fig. 1*.

TABLE I  
Average concentration and sediment loads at the different stations

No.	Stream	Gauging station	Mean values of				Maximum		
			sediment concentration in gr/m <sup>3</sup>	suspended load in kg/sec	bed load in kg/sec	referred to the decade 1931/40	sediment concentration in gr/m <sup>3</sup>	suspended load in kg/sec	bed load in kg/sec
1	Danube	Dunaremete	40	76	5,9		700	3 500	60
2		Nagybajcs	60	180	0,7		800	6 000	100
3		Dunalmás	76	240	1,2		800	6 000	40
4		Nagymaros	100	320	0,8		1 000	6 600	11,5
5		Dunapentele	115	370	0,9		1 000	7 000	8
6		Fajsz	110	340	1,6		800	5 000	7
7		Baja	130	580	1,4		900	5 000	8
8	Tisza	Záhony	425	210	—		4 000	4 700	—
9		Rázompusztá	295 (1)	290	~0,3 (2)		3 300	6 100	~6 (2)
10		Polgár	380	310	0,222		3 340	7 000	5
11		Tiszabő	300	190	0,5		1 500	1 600	5
12		Tápé	340	430	0,3		2 000	6 000	5
13		Szeged	560	700	0,6		3 500	9 200	7
14	Zala	Zalaapáti	66 (3)	0,74	0,0008		2 000	270	0,1
15	Sajó	Kazincbarcika	1060	110	0,1		24 000	8 000	4
16		Miskolc	310	46	0,017		5 500	3 600	0,74
17	Hernád	Hidasnémeti	220	26	0,2		29 000	12 000	100
18		Geszteley	120	15	0,2		10 000	4 500	60
19	Sebeskőrös	Kőrösszakál	116	8	0,074		9 000	3 000	~8
20	Maros	Deszk	500	265	0,9		4 500-10 000	6 000-12 000	—

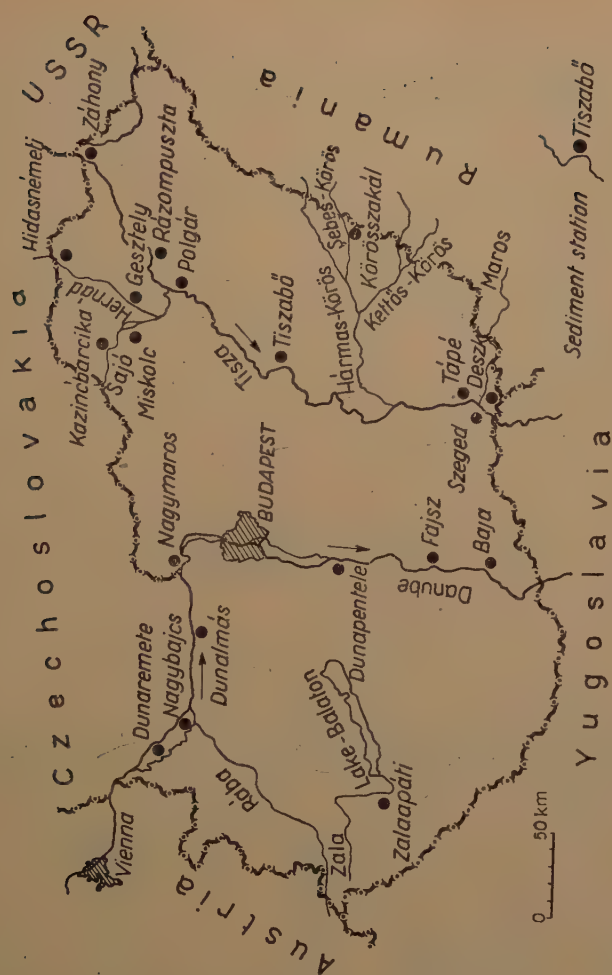


Fig. 1

Table II lists data obtained in 20 gauging stations on the Danube, Tisza, Zala, Sajó, Hernád, Sebes-Körös, and Maros rivers. Based upon the details in Table I, it presents the average annual sediment transportation as the sum total of the weights of bed load and suspended sediment carried, and indicates the size of the catchment basin belonging to the respective station. The average annual specific sediment transportation was calculated from the quotient of these two values. Assuming the volume weight of 1 cu. m of loose sediment in the natural state to be 2000 kg, and dividing by it the specific sediment load, we arrive at certain approximative data for the rate of annual average land erosion, expressed in mm.

The data in Tables I and II permit of certain statements concerning sediment

TABLE II  
The specific rate of sediment transportation and erosion at the different stations

No.	Stream	Gauging station	Average yearly sediment transportation in 1000 tons	Catchment area in km <sup>2</sup>	Average yearly	
					Specific sediment transportation in t/km <sup>2</sup>	Specific erosion * in mm
1	Danube	Dunaremete	2 583	132	19,6	0,010
2		Nagybajcs	5 702	~135	42,0	0,021
3		Dunaalmás	7 589	171	44,3	0,022
4		Nagymaros	10 125	183	55,3	0,028
5		Dunapentele	11 728	189	62,0	0,031
6		Fajsz	10 772	192	56,2	0,028
7		Baja	18 335	208	87,8	0,044
8	Tisza	Záhony	6 650 **	32,5	202	0,101
9		Rázompusztá	9 150 **	49,3	186	0,093
10		Polgár	9 787	62,7	156	0,078
11		Tiszabő	6 016	67,4	89,4	0,045
12		Tápé	10 709	~109	98,6	0,049
13		Szeged	22 094	139	159,5	0,080
14	Zala	Zalaapáti	23	1,5	7,6	0,008
15	Sajó	Kazincbarcika	3 473	4,0	858	0,429
16		Miskolc	1 491	5,2	285	0,176
17	Hernád	Hidasnémeti	826	4,5	182,5	0,091
18		Gesztye	479	5,1	93,5	0,047
19	Sebes-Körös	Körösszakál	261	2,5	105,6	0,053
20	Maros	Deszk	8 328	~29,7	280	0,140

\* Computed with 2000 kg/m<sup>3</sup> volumetric weight

\*\* Exclusive bed load

transportation in Hungarian rivers and the rate of erosion in their respective catchment area.

In the *Danube*, bed load transportation is very considerable at the uppermost station but decreases materially in the lower stretches of the Hungarian section. Suspended sediment weight shows gradual but very marked increases downstream. Compared with other rivers, suspended sediment transport is moderate. Maximum sediment concentration is remarkable for its constancy along the entire Hungarian section. Together with suspended sediment weight, sediment concentration of course also decreases downstream. Annual sediment transport per unit area of watershed keeps increasing from Dunaremete to Baja. On the evidence of the data in Table II the rate of average land erosion per year is the lowest on the Danube; even at Baja it does not exceed 0,044 mm.

In the *Tisza*, suspended sediment transport considerably exceeds the amount of bed load travelling on the bottom. The river carries relatively much more suspended material than the Danube; to this point the relatively high values for mean sediment concentration; the maximum concentrations are 3 to 4 times those in the Danube. Accordingly, the maxima to be expected at culminating gauge heights represent very high values in relation to those for suspended-load weight. Since in relation to the Danube the Tisza carries more suspended sediment, the yearly average specific sediment transport is more in the latter than in the former; consequently, the yearly average loss of land by erosion is heavier in the watershed of the Tisza.

In the *Zala*, this minor river feeding Lake Balaton, the sediment transported is comparatively little in amount. Average yearly erosion is accordingly small.

The *Sajó* is a stream that transports very much sediment, and is conspicuous for its exceedingly high, quite extreme, sediment concentrations. It is the Hungarian river with the highest average annual specific sediment load and the highest rate of land erosion. In its upper section the average loss by erosion approximates 0,5 mm.

The *Hernád* is our river richest in sediment, if suspended and bed load together are compared. This stream too is remarkable for its extremely high sediment concentrations. It also carries a relatively large amount of bed load. However, the annual average specific sediment transport and the rate of land erosion are less heavy than in the *Sajó*; a fact obviously due to peculiar conditions in the catchment area.

The *Sebes-Körös*, and particularly the *Maros*, transport a fair amount of sediment, and the yearly average erosion of land is correspondingly high.

A point in studies on sediment transportation is the character of the mineral composition of the sediment, especially because it imparts information concerning the material's place of origin. If such studies are extended to include the periodic changes in mineral composition, they will enable us to draw valuable conclusions regarding the erosion processes in the watershed. So far from at least two samples, the mineral composition of the sediment in every river of Hungary has been determined. Already these few determinations allow some inferences as to the place the sediment derives from. For example, it appears safe to claim that for its overwhelming part the sediment in the Danube originates from the Alps. For the purposes of these determinations it is best to examine pebbles from the bed load. It would seem expedient to take measures for the systematic future registration of the changes in the mineral composition which are dependent on flow, on the seasons of the year, and on the weather conditions. Obviously, data resulting from such observations would throw light upon many peculiar features of the erosion processes taking place in the catchment area.



## BIBLIOGRAPHY

- Gy. BANKY : Javaslatok a Mátra állományának megjavítására (Proposals to improve forest stands in the Mátra). 1955. Budapest, *Erdészeti Kutatások*, I. pp. 13.
- J. BOGARDI : A hordalékmozgás elmélete (The theory of sediment movement). 1955. Budapest, Akadémiai Kiadó, 547 pp. 227 figures, 61 tables.
- J. BOGARDI : Folyócsatornázással kapcsolatos hordalékproblémák (Problems of sediment transportation pertaining to river canalization). 1952. Budapest. *Magyar Tud. Akadémia Műsz. Tud. Oszt. közleményei*. 1952. Vol. II, No. 4, 10 pp.
- J. BOGARDI : Hordalékméréseink eddigi eredményei (Results to date of sediment measurements in Hungary). 1954. Budapest, *Vízügyi Közlemények*, 36.évf. No. 2, 12 pp. 4 figures, 1 table, English and Russian summary.
- J. BOGARDI : Lebegtetett hordalékmozgás a Tisza Záhony-rázompusztai szakaszán (Suspended sediment movement on the Záhony-Rázompuszt section of the Tisza river). 1949. Budapest, *Vízügyi Közl.* Vol. 31, No. 3-4, 46 pp. 26 figures, 9 tables. English and Russian summary.
- J. BOGARDI : Mesure du débit solide des rivières en Hongrie. 1951. Grenoble, *La Houille Blanche*, Vol. 6, No. 2, 19 pp. 24 figures, 1 table. English summary.
- J. BOGARDI : Some characteristic relations concerning suspended sediment transportation. 1955. Calcutta, *The Port Engineer*, Vol. 4, No. 3, 7 pp. 10 figures.
- J. BOGARDI : Characteristic correlations of bed load and the hydraulic factors of natural stream channels. 1955. Calcutta, *The Port Engineer*, Vol. 4, No. 3, 5 pp. 4 figures.
- J. BOGARDI : A görgetett hordalék jellemzőinek folyóhossz szerinti változása. (Variation of bed load characteristics downstream). 1955. Budapest, Beszámoló a VITKU 1954. évi munkásságáról. *Műszaki Könyvkiadó*. 14 pp. 7 figures, 2 tables. English and Russian summary.
- J. BOGARDI : A mederállandóságra és a hordalékmozgásra vonatkozó vizsgálatok (Studies of channel stability and sediment movement). 1956. Budapest. *Magyar Tud. Akad. Műsz. Tud. Oszt. Közl.* Vol. XIX, No. 4, 15 pp. 6 figures.
- J. BOGARDI : Über die Zu- und Abnahme des Schwebstoffgehalts in den Flüssen mit der Änderung des Abflusses. 1956. Stuttgart, *Die Wasserwirtschaft*, 47 Jahrgang, Nr. 3, 7 pp. 4 figures, 2 tables.
- I. HÉDER : Dolomit és mészkő kopárfásítások egyes főbb irányelvei (Some major guiding principles in the afforestation of bares on dolomite and limestone) 1951. Budapest, *ERTI Évkönyv* No. 1951.
- I. HÉDER : A kopárfásítás helyes megtervezése s a mikroreliefek fontossága a kopárfásításban (The significance of planning and of microreliefs in the afforestation of bares). 1952. Budapest, *Az Erdő*, Vol. XII, 16 pp.
- I. HÉDER : Dolomit és mészkőkopárokra telepített erdők hatásvizsgálata és a kiöregedő erdő felújítása (Effects of forests planted on dolomite and limestone bares, and the renewal of aged forests). Budapest, *Erdészeti Kutatások*, No. 1954, 14 pp.
- I. HÉDER-L. STEFANIK : A Hernádvölgy keleti oldalán a szilikát kőzeteken kialakult kopárok vizsgálata (A study of the bares on parent silicate on the eastern side of the Hernád valley). 1955. Budapest, *Erdészeti Kutatások*, No. 1, 25 pp.
- I. HÉDER : A hegy- és dombvidéki kopárok fásítása. (Afforestation of bares in hilly and mountainous regions) 1956. Budapest, *Magyar Szabványhivatal, MNOSZ*, No. 20216.
- L. IVICSICS : A görgetett hordalék zöreijének mérése. (Measurement of bed load sound). 1953. Budapest, *Mérés és Automatika*, Vol. I, No. 5, 3 pp. 3 figures.
- Z. KAROLYI : A felső-dunai hordalék tanulmányok eddigi eredményei. (Results to date of studies on sediment in the Upper Danube). 1951. Budapest, *Vízügyi Közlemények*, Vol. 31, No. 1, 15 pp. 8 figures, 1 table. German and Russian summary.
- Z. KAROLYI : A folyami hordalék mennyiségi csökkenése kopás következtében (Decrease in the amount of fluvial sediment due to abrasion). 1953. Budapest, *Vízügyi Közlemények* Vol. 35, No. 2, 27 pp. 20 figures, 1 table. French, German and Russian summary.
- Z. KAROLYI : Hordalékmérés és hordalékhozam (Sediment measurement and sediment discharge). 1952. Budapest, *Mérnöki Továbbképző Intézet*, No. 1866, 25 pp. 8 figures.
- Z. KAROLYI : Mesures se rapportant au débit solide du Haut Danube. 1945. Grenoble, IAHR Third Meeting, Rapport 11-12, 12 pp. 5 figures.
- G. LADI : Az erdők szerepe a vízgazdalkodásban (The part played by forests in water management). 1956. Budapest, *Az Erdő*, Vol. 1956, No. 3, 9 pp.
- G. LADI : Egy dombvidéki szintirányú erdősav hatásának vizsgálata (Study of the effect of a forest belt in hilly region). Budapest, *Erdészeti Kutatások*, 1956. No. 3, 8 pp.

- I. MEZSI, É. DONATH : A Tisza és Maros oldott és lebegtetett anyagának vizsgálata (Study of the dissolved and suspended material in the Tisza and the Maros). 1954. Budapest, *Hidrológiai Közöny*, Vol. 34, No. 3-4, 9 pp. 9 figures, 2 maps. German summary.
- E. MOSONYI : Vizerőhasznosítás I-II. (Water power development). 1952-53, Budapest, *Tankönyvkiadó*. 891 pp. 742 figures, 27 maps, 7 enclosures. German edition.
- E. NÉMETH : Hidrológia és hidrometria (Hydrology and hydrometry). 1954. Budapest. *Tankönyvkiadó*. 662 pp. 681 figures, 55 tables, 1 enclosure.
- K. TÖRY : A Duna és szabályozása (The Danube and its regulation). 1952. Budapest, *Akadémiai Kiadó*, 454 pp. 168 figures, 14 tables, 6 enclosures.

# A STUDY INTO INCONSISTENCIES IN BED-LOAD TRANSPORT ON THE BASIS OF MEASUREMENTS IN HUNGARY

Z. KÁROLYI

*Engineer, Candidate of Technical Sciences,  
Research Institute for Water Resources, Budapest*

## SUMMARY

The results of bed load charge measurements as well as the values of suspended load concentration provide much difficulties in approximating them with some known formula or determining relations some graphical method. All silt charge formulae are valid only for the case of permanent flow, water and sediment movement in natural channel, however, varies also temporally.

On the basis of thorough elaboration of the Hungarian measurements results following statements might be made:

1) Silt charge is much influenced by temporal variation of discharge (flashy rise or steep falling of stages). Manifestations of this are:

a) transitory bed scour experienced at flashy rise,

b) a certain inertia (hysteresis) of sediment movement, i.e. a retardation experienced in the variation of silt charge and suspended load concentration.

2) One of the principal causes of scattering of the measurement results is the pulsation of sediment movement being able to cause in certain cases extreme deviations.

3) Spiral flow in bends causes sediment moving in sections and strips.

4) In addition to these various hydrological factors are strongly influencing the silt charge.

The enumerated phenomena are mostly not to be separated from each other, thus direct measurements are of no use in elucidating the rules, laboratory investigations extended to variable discharges would be necessary. Fitting out laboratories with equipments for continuous silt charge observations would be desirable.

Theoretical and experimental research into silt charge transported by water-courses encountered a significant development during the last decades. The concentrated effort of many research workers resulted in the simultaneous improvement of both theory and experimental study of bed-load movement. The results indicate the high standard attained. Adopting modern relations of Meyer-Peter and Müller as basis, the concept of hydraulically correct formulae for the rate of bed-load transport has been developed by Kalinske, Einstein and Frijlink <sup>(6)</sup>, who, by taking established results of laboratory experiments into account derived expressions complying with theoretical considerations.

Even these expressions, however were not found to be adequate for practical purposes. The wide scatter of points representing sediment observation data (*Fig. 1*) may prevent the reliable construction of the line of best fit or the satisfactory adjustment of data by one of the above formulae. As mentioned in several instances in the literature, inconsistent observation results were obtained even if several types of samplers and sampling methods have been applied. Reference could be made to French <sup>(12)</sup>, Dutch <sup>(18)</sup>, Austrian <sup>(11)</sup>, Slovakian <sup>(17)</sup> as well as to Hungarian <sup>(2)</sup> publications on the subject, on which similarly scattered observation results have been reported. The common conclusion arrived at by all these authors is, that observation results may not be accounted for satisfactorily by present formulae for the rate of sediment transport.

At present the discrepancy between laboratory research supported by theory

# *Observed bed-load quantities on the Danube River 1695 km from the estuary*

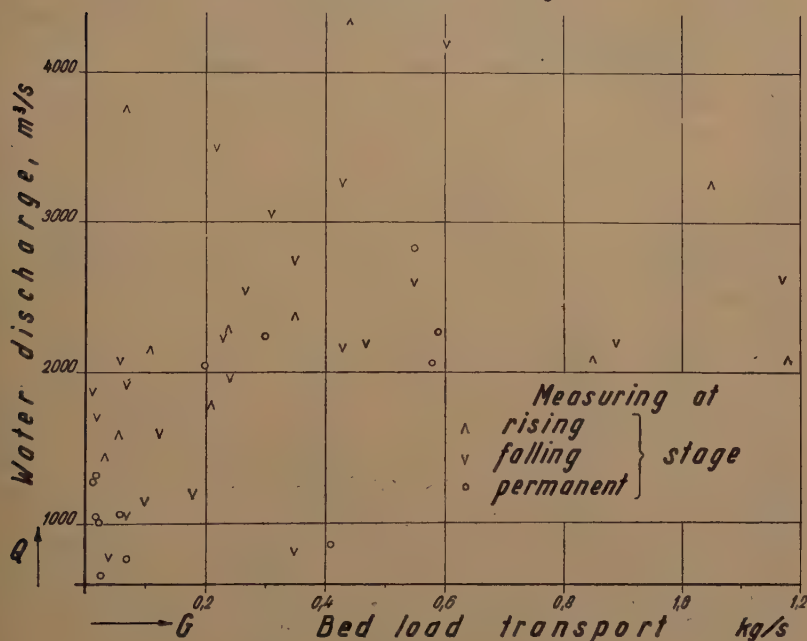


Fig. 1

and practical applications is thus rather wide, i.e., theoretical approaches have failed to provide adequate information for practical use as yet.

It is proposed to investigate in the following, on basis of Hungarian experience, the factors resulting in the above-mentioned inconsistencies and to make suggestions as to the further development of sediment observation techniques and of laboratory research work.

## I. RECENT ACHIEVEMENTS IN THE FIELDS OF SEDIMENT OBSERVATION.

From the encountered scattering of data two conclusions are generally derived. The first is the rejection of direct sediment observation data as unreliable, the cause being ascribed to the shortcomings of the sampling equipment. In some countries such instruments are considered fundamentally useless. As reported by *Benedict and Matejka* (<sup>1</sup>) direct bedload transport observations are hardly carried out in the USA any more, and resort is made to indirect methods.

On basis of experience gained during sediment observations in Hungary it may be stated, that although the sampling instrument used was far from being complete and is in need of improvement, the scatter in results exceeds by far the error resulting from these defects. The usefulness of samplers is demonstrated also by the fact that the scatter in results of suspended load observations is of the same character

and order of magnitude as encountered in bed-load observations, although the difference in precision and reliability of instruments and methods would favour the former. (Fig. 2).

*Observed suspended-load concentrations on the Danube River, 1752 km from the estuary*

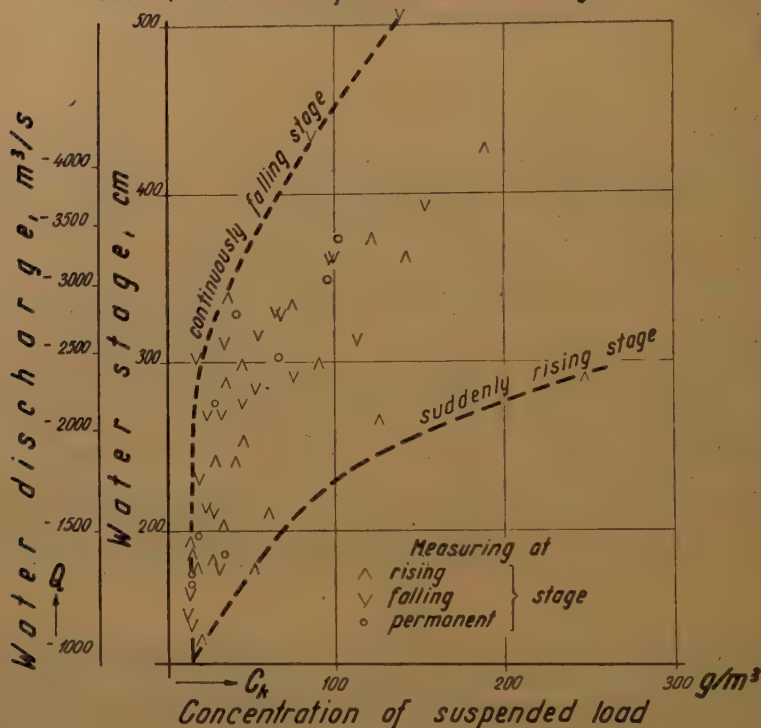


Fig. 2

The nature of the deviations leads to the second conclusion, that since the scatter in results is partly due to hydrologic conditions, such as particulars of the catchment area and of the water course, changes in meteorological conditions, season, character of runoff etc., no relations of general validity can be derived for these. As will be demonstrated later, hydraulic factors and effects (fluctuations in discharge, retardation) are also involved, for which the development of general relations and thereby the reduction of the number of hydrologic factors depending on unknown and local circumstances may be expected.

Achievements of the Hungarian Water Board in the field of sediment observation (measurement) may prove suitable to reestablish faith in direct methods of the latter. Results to be described briefly in the following were obtained by the use of a special sampling instrument having plate steel sides and bottom designed without screening<sup>(8)</sup>. By retaining thus also the fines in their approximately original composition, the sampler permitted the granulometric analysis of bed-load material.



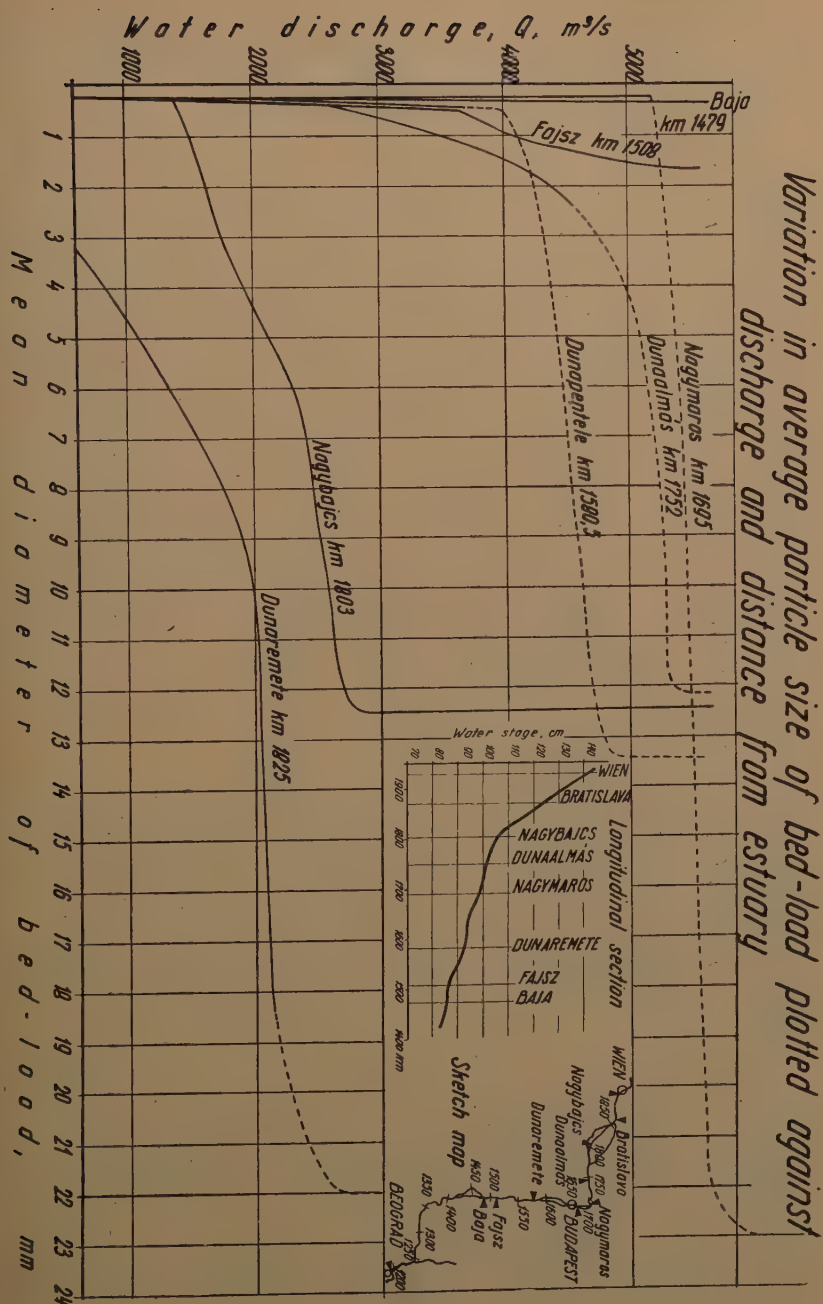


Fig. 3

1. The definition of *total and partial bed-load movement* by Nizery and Braudeau has been applied during the investigation, according to which the condition of partial bed-load movement is that the graduation of bed-load be finer than that of the bed material. It has further been established that the formula of Meyer-Peter may not be applied in case of partial movement unless the critical particle diameter is substituted for that of the bed material.

The number of bed-load measurements carried out by the Hungarian Water Board exceeds several thousands. These observations included the careful determination of the granulometric composition for both bed-load and bed material. The great number of data permitted extensive investigations into partial bed-load movement, as a result of which the discharge separating partial and total movement could be determined. It has been found that, contrary to expectations, partial bed-load movement on certain reaches of the Danube River is by no means an uncommon phenomenon. A section exceeding 150 kilometres in length has been located on the central reaches of the Danube for which the bed-load consists, even at times of floods, of fine sand only (the bed is at the same time covered by a layer of coarse gravel).

Variations in particle size of bed-load material for the Danube River are shown in Fig. 3, revealing at the same time the critical discharge separating partial and total bed-load movement. It should be noted, that total movement has not been reported as yet by any of the three stations — Dunaalmás, Nagymaros and Dunapentele — located along the above-mentioned reach, although observations were continued also during flood periods. The bed is rendered here extremely resistant and stable by the coarse gravel top layer and shows no tendency towards meandering. On the contrary, long straight stretches are characteristic of this section. Beyond the point, however, where the top layer comes to an end and where the particle size of bed material becomes equal to that of bed-load, the river assumes a meandering character (<sup>9</sup>). A positive relationship could thus be detected between bed-load conditions and morphological character of the river.

Partial movement, i.e., movement of fine sand only, could similarly be observed at times of medium and low discharges on certain reaches of small watercourses having steep slopes and transporting coarse gravel bed-load.

2. Investigations revealed the existence of a *limit discharge* at low river stages, beyond which no intensive bed-load movement occurs any more, and the concentration of suspended-load is also reduced simultaneously to a minimum (See Fig. 4). Bed-load of an even finer particle size still continues to move in a certain zone, yet this transport is negligible.

With increasing discharges the zone in which movement occurs gains in width. Both partial and total movement may be encountered within, and movement of fine sand may be demonstrated also outside of this zone. The particle size of bed-load as well as the width of the zone of movement increase parallel with increasing river stage, until movement eventually extends to the entire width of the bed at flood stages.

The limit discharge encountered at low water is limit also for suspended-load. Above this limit the concentration thereof increases sharply. Consequently a certain relationship may be established between the quantities of suspended-load and bed-load respectively. Any increase in the concentration of suspended-load may thus furnish information as to the increase in bed-load transport. More intensive movement results namely in increased turbidity and thereby in the concentration of suspended load.

Formulae of Meyer-Peter may be applied to partial movement by dividing the bed in flow direction by means of vertical sections into several zones according to the particle size of the transported material, and by performing computations separately for each zone. The determination of roughness parameters for both

*Bed-load charge and concentration of suspended-load  
plotted against stage on the Danube River, 1825.5 km  
from the estuary*

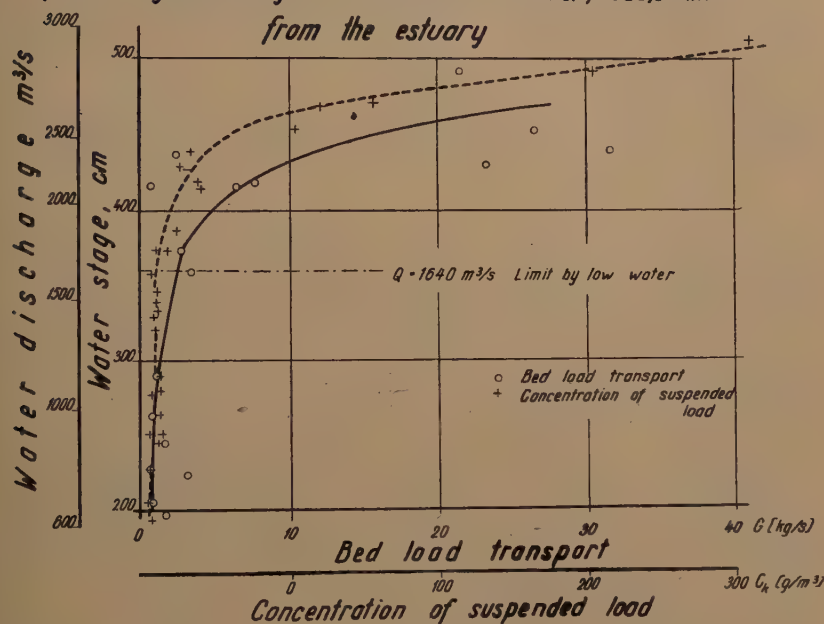


Fig. 4

mobile and immobile zones constitutes always a difficult problem under actual as against laboratory conditions. The proper choice of the critical (decisive) particle diameter is subject to similar difficulties. Variations in particle size are especially pronounced and rather unsteady in case of partial movement. This circumstance is likely to contribute materially to the scatter of results obtained.

Efforts should be made towards the possibly exact determination of the width of the zone of movement. The circumstance, that movement of fine-grained material may also occur beyond this zone, may cause difficulties in this respect. The electro-acoustical bed-load observer developed recently (7) may prove useful for this purpose.

## II. FACTORS AFFECTING SCATTER.

The plot containing bed-load versus river discharges (sediment-discharge rating) represents a group of scattered points permitting the approximate construction of three lines of best fit, one for sharply rising stages, one for average stage, and one for slowly falling stages. (See Fig. 5.) The distance of the two extreme curves from the average is considerable and deviations of individual observation data may obviously amount to several hundred per cent in every direction. Attempts to order observation data according to rising, falling or steady (permanent) character of flow have however remained unsuccessful. Attempts have been made further to include the acceleration of flow by considering the slope of the hydrograph. To

# *Bed-load charge plotted against discharge on the Danube River, 1805 km from the estuary*

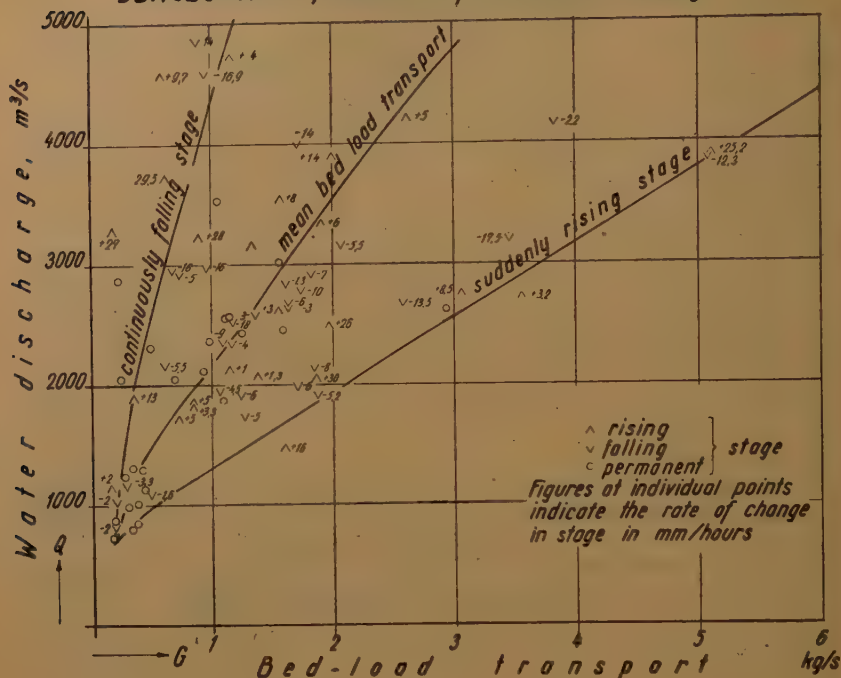


Fig. 5

this end the hourly change in stage has been noted beside the points in millimetres (See Fig. 5.) This plot revealed a sharp increase in bed-load transport in case of rising stages and especially in case of sudden spates, and a corresponding reduction in case of falling stage, a close unequivocal relationship could, however, not be established.

## a. Effects of rising and falling stages on bed-load transport.

Flood waves resulting from storm rainfalls may set extremely large quantities of bed-load in motion. Such flood waves when encountering stable top layers in the bed, will tend to scour these. Owing to the temporary resistance of the layer, there occurs a significant increase in tractive force as there is a deficiency in material to be transported. Upon reaching or exceeding the resistance of the top-layer the excess tractive force results in sudden scour and deepening of the bed. This will be continued until equilibrium conditions between sediment transport and available energy are established. Such freshets may thus give rise to the sudden increase of bed-load transport. The rising stage and consequently slope may cause significant scour even if there is no top-layer present. The empirical fact as regards erosion in the initial, steepest state of floods may thus readily be explained. Reference is made in this connection to observations reported by Leopold and Maddock (<sup>10</sup>) and



Walser (<sup>19</sup>) who found that erosion in such periods may attain an order of magnitude of metres. The extension of similar observations coupled with those of sediment transport would seem preferable. Significant achievements could be registered in this field, by the successful development of reliable recording instruments for this purpose. Reports on experiments with a similar device have been published by the Technical University, Ljubljana (<sup>8</sup>).

As revealed by available observation data, the rate of sediment transportation is materially higher in periods of rising stages than that under steady or falling conditions. Laboratory experiments that could do much towards the solution of the problem, have not been carried out as yet.

#### *b. Retardation of sediment transportation.*

Observation data shown in Fig. 5. have been investigated in relation to the character of the hydrograph as well. To this end, data have been marked accordingly e. g., for flashy or gradually rising stages, for steady conditions, for days before or after the highest flood water level, for repeated highest flood water levels etc. The critical investigation of data clearly shows sediment-transport phenomena to follow a certain hysteresis law, i. e., to occur with a certain degree of retardation. The significantly increased rate of transport continues for some time after recession has started. This retardation of transport may readily be explained by the aid of limit values of different types of movement. In this respect reference is made to experiments performed by *Schaffernak* on bed-load transport in the *Danube River* (<sup>14</sup>). Fig. 8 on page 14 of his book shows limit velocities corresponding to first occurrence of erosion, conveyance of sediment arriving from above and first occurrence of deposits respectively plotted against particle size. The difference between the three lines is significant; for a given diameter it may attain as much as 30 per cent. As indicated by these differences the inertia of sediment transport constitutes a factor not to be neglected which may contribute markedly to the scatter of results observed. Systematical experiments that might provide the basis of general relations in this respect are also missing. The distinction made by *van Til* (<sup>16</sup>) between movements of sediment arriving from above and eroded from the section under consideration, may be regarded as an important step towards investigations of this nature.

#### *c. Pulsations in discharge and sediment transport.*

Pulsations in watercourses may be the result of any of the three following causes: changes of river stage, velocity of flow (discharge) and sediment transport. Fluctuations in these factors are but insufficiently explained as yet and no relationships between these have been established so far. According to our present experience the three kinds of fluctuations may have entirely different causes. Observations carried out on the Danube River revealed no relation between sediment transport and flow velocity as regards neither duration nor frequency of occurrence as yet.

1. At times of variations in discharge, i. e., with rising stages the water masses accelerating in the river bed become reflected at various points by various obstacles in bends, islands or on the flood plain, and thus resulting waves cause variations in stage. Such variations observed during a one-hour period on the Danube River are shown in Fig. 6. The water level rose at a rate of 30 cm/day during the observation period and flow was of strongly overbank character. The maximum pulsation observed was 12 cm while the time required for a single cycle was measured at 2 minutes 22 secs. The relatively calm periods observed around the middle and end of the observation period gave positive indication of the presence of interference phenomena.

Variations in river stage were encountered in transversal direction as well.



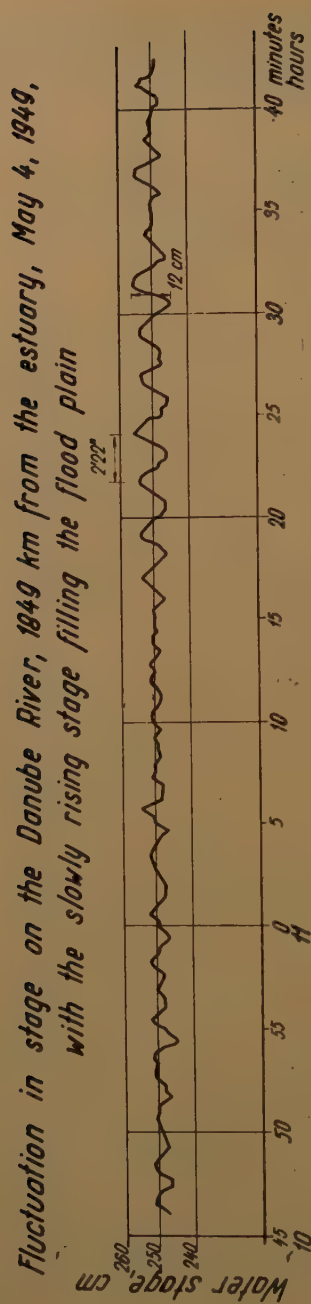


Fig. 6

Changes in cross-sectional slope of the water level obviously have a bearing on helical (transversal) currents and in turn on sediment transport.

2. Fluctuations in velocity were found to be of a less regular character, although a certain degree of periodicity could be observed for these also. (See Fig. 7). On

# *Fluctuation in flow velocity at medium stage on the Danube River 1820 km from the estuary*

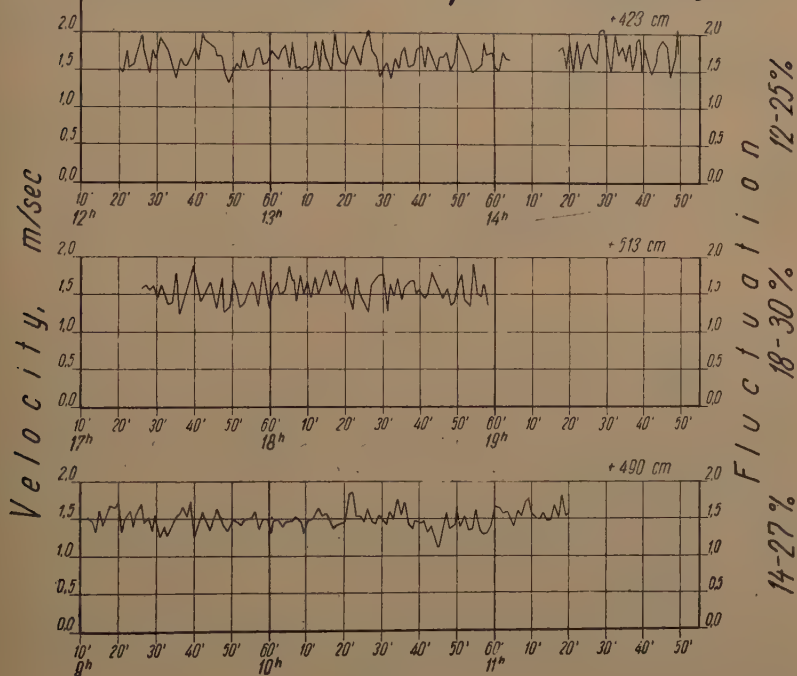


Fig. 7

basis of experience gained, fluctuations in velocity may be explained also by turbulence. More significant changes encountered at greater intervals probably coincide with the separation of eddies.

3. Variations in sediment transport — amounting in some instances to several-fold of the normal — were encountered also by Ehrenberger (\*). In the course of repeated Hungarian observations samples were taken at close intervals for several hours to thus obtain information as to the nature of these fluctuations. Variations in samples taken from the same cross section yet from several verticals by the sampler lowered to the bottom for two minutes at intervals of from 4 to 5 minutes are shown in Fig. 8. These observations have been carried out at times of medium stage.

Characteristic of variations in sediment transport are the relatively short-period yet high-intensity increases and corresponding decreases following longer period of small differences around a mean value. A periodicity extending to several hours may also be detected (see dashed-line).

## Fluctuations in bed-load charge in different verticals of the section at medium stage

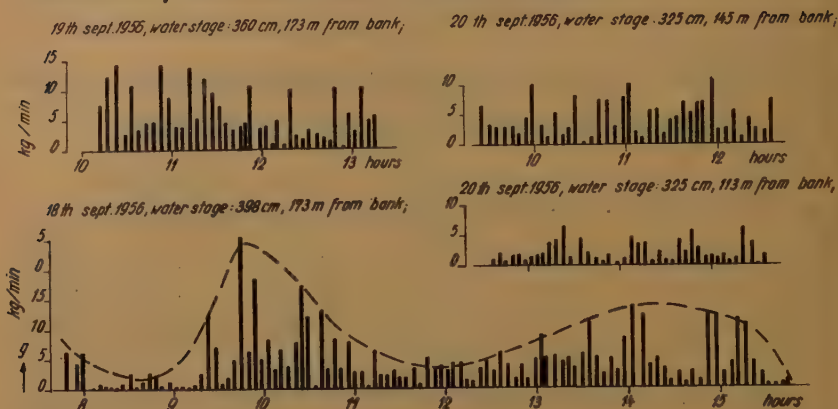


Fig. 8

Phenomena encountered may readily be explained if the velocity of flow approaches the critical value and varies within a range comprising the latter. The rate of transport may in such cases assume a fluctuating character. The load carried by these waves may exceed the normal value several times. In case of higher stages the inertia of movement referred to previously and the wide discrepancy between different conditions of movement may also enhance the irregularity of scatter. Separation of eddies may finally also result in sudden increases in bed-load transport. The character of fluctuations bears out the conclusion that eddy-separation may constitute the source of bed-load variations.

A satisfactory answer to all these problems may not be expected without the aid of recording samplers furnishing continuous information on the phenomenon. The rate of transport obtained by the use of the sampling instrument will obviously depend upon whether the sampler was lowered at times of maxima or minima to the bottom. In order to compensate for this effect, the sampler should rest for a longer period on the bottom at times of low stages, whereas observations should be repeated (at least 5-6 times) at shorter intervals at times of higher stages. Even more observations are necessary at times of floods. The great number of repetitions naturally extends the time required for observation.

### d. The role of the bends.

Helical (transverse) currents to be encountered in bends result in scour at the concave bank and in deposits at the convex bank of the bed. Bed-load at the bottom is carried by these cross-currents towards the convex side and depending on stage tends to mount the slope of the bank (bar) formed. Part of the bed-load will thus be concentrated at the toe of the bank and will form a zone of movement. These zones may be encountered in the bends as well as in the inflexions. As revealed by bed-load observations the separation of bed-load movement into zones occurs in almost every instance. Zones containing different particle sizes can be distinguished even in case of partial movement.

As revealed by the Vicksburg experiments <sup>(6)</sup> material eroded from the concave bank is transported only as far as the subsequent bank immediately downstream on the same side of the bed. Water moving vertically downward on the concave side must upon contact with the bottom suddenly change its direction into horizontal. The tractive force of water is therefore greatest and exceeds the resistance of the bed-material against erosion at this point first. The material set in motion is transported along the bottom by the momentum imparted to it as far as the next bar and is deposited there. The resulting movement of bed-load is therefore periodic on these stretches. In the case of beds in firm soils or having protected banks where no significant erosion may develop on the concave side, material arriving from above is carried on downstream especially at times of rising stages. The discernment between the two kinds of movement is rather difficult.

It has been observed that deep sections at the apex of bends are scoured further while shallows are filled up during high flows, whereas the reverse may be encountered at low stages. As revealed by these experiences, bed-load transport is dependent to a marked degree upon the morphological character of the watercourse. The site observations in a bend or shallow may also influence the results obtained.

### III. POSSIBILITIES FOR THE DEVELOPMENT OF BED-LOAD OBSERVATIONS.

Investigations and observations described in the foregoing, although presenting no theoretical development, were intended to reveal the problems awaiting solution and those requiring special investigation methods.

The main problem in this field is the continuous observation of bed-load transport. Some promising attempts to this end have already been made by the development of instruments utilizing electric waves <sup>(8)</sup>, acoustical effects <sup>(7)</sup> <sup>(15)</sup> or ultrasonic principles. These are, however, unsuitable for the measurement of absolute quantities and are applicable to the recording of relative changes only. Data obtained by using sampling instruments may be supplemented or adjusted by such records. In other words the sampler can not be substituted by these instruments as yet especially as far as the determination of particle sizes is concerned. Nevertheless by the simultaneous use of the two types, an answer for at least a part of the problems may be expected.

The granulometric composition of bed-load in relation to that of bed-material has been shown to furnish information on a number of important problems. Consequently samplers of a type designed to collect bed-load in its original composition should be preferred to screen-bag types. Considerable progress has been made in this respect, by dr. Ing. Novak, who, in the course of experiments carried out at the laboratory of the Research Institute, Prague, developed an improved version of the Hungarian sampler and eliminated a great part of the shortcomings encountered hitherto with the latter.

The above sampling instrument proved satisfactory on watercourses transporting coarse gravel and sand.

As indicated by Dutch experiments <sup>(18)</sup>, on rivers carrying very fine silt, special instruments are required.

### IV. AIMS OF LABORATORY RESEARCH.

The scatter in bed load observation results indicated the desirability of continuous — i. e. during changing discharge — recording. Silmlilar considerations apply to laboratory research as well. Bed-load transportation formulae derived on the

basis of laboratory results are related — it is believed without exception — to steady-flow conditions. As could be seen during the evaluation of data obtained by actual observation, these formulae do not yield satisfactory results in case of non-steady flow and bed-load transport conditions. Laboratory investigations should therefore be extended to comprise non-steady flow-conditions as well. Results of these experiments should be allowed for by the development of new parameters for these formulae. Laboratories are usually equipped for the investigation of steady rates of bed-load transport only, studies into non-steady transport conditions would similarly require the development of continuous bed-load recorders. Several promising attempts have been made also in this regard. Instruments operating on the previously described principles may prove successful, yet other methods, such as radar, radioisotopes and different rays may also become applicable.

The outlined development of laboratory research on bed-load transportation may offer possibilities for the determination of some of the hydraulic factors or parameters and thereby for the partial reduction of the scatter in results obtained. The effect of factors depending on local circumstances may thus also be reduced.

### BIBLIOGRAPHY

- (<sup>1</sup>) BENEDICT, P. C. and MATEJKA, D. Q. The measurement of total sediment load in alluvial streams. — Proceedings of the Fifth Hydraulics Conference June 9-11. 1952. Iowa.
- (<sup>2</sup>) DR. BOGÁRDI, J. A hordalékmozgás elmélete. (The theory of bed-load transportation.) Budapest, 1955.
- (<sup>3</sup>) COLARIC, O. Problem nepretrganega merjanja prodni valov — The problem of continuous measuring of bed undulation — Vodogradbeni laboratorij pri tehniški fakulteti univerze v Ljubljani. Publikacija 1.-1955.
- (<sup>4</sup>) EHRENBERGER, R. Direkte Geschiebemessungen an der Donau bei Wien und deren Ergebnisse. (Direct bed-load observations on the Danube River at Vienna and results obtained.) *Die Wasserwirtschaft* 1931/4.
- (<sup>5</sup>) FRIEDKIN, J. F. A laboratory study of the meandering of alluvial rivers. U. S. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1945.
- (<sup>6</sup>) FRIJLINK, H. C. Discussion des formules de débit solide de Kalinske, d'Einstein et de Meyer-Peter et Müller (Zürich). Société Hydraulique de France. Compte rendu des deuxièmes journées de l'hydraulique Grenoble, 25-29 juin, 1952.
- (<sup>7</sup>) IVICSICS, L. A görgetett hordalék zörejekének megfigyelése. (Acoustical observation of bed-load transport.) Hidrológiai Közlöny, Budapest 1956/4.
- (<sup>8</sup>) KÁROLYI, Z. Mesures se rapportant au débit solide du Haut Danube Hongrois. — Association Internationale de Recherches pour Travaux Hydrauliques. Congrès tenu à Grenoble en Septembre, 1949. Rapport No 11-12.
- (<sup>9</sup>) KÁROLYI, Z. Folgerungen aus den Ergebnissen der Geschiebemessungen an der Donau. Österreichische Wasserwirtschaft, 1957/10. (Conclusions drawn from results of bed-load observations on the Danube River).
- (<sup>10</sup>) LEOPOLD, L. G. and MADDOCK, Th. Jr. Relation of suspended-sediment concentration to channel scour and fill. — Proceedings of the Fifth Hydraulics Conference, June 9-11. 1952. Iowa No. 426.
- (<sup>11</sup>) MOOSBRUGGER, H. Der Geschiebehaushalt eines Gebirgsflusses auf Grund von Beobachtungen in den Jahren. 1952-1953. in Rahmen der Ennstudienkommission. Assemblée Générale de Rome 1954. A. I. H. S. Tome III. (Long-period observation records on bed-load regime).
- (<sup>12</sup>) NIZERY, A., BRAUDEAU, G., and BONNINI, J. La station de Sautet pour l'étude de l'alluvionement des réservoirs. — Transport Hydraulique et décantation des matériaux solide. — Société Hydraulique de France. Compte rendu des deuxièmes journées de l'hydraulique Grenoble,
- (<sup>13</sup>) NIZERY, A., and BRAUDEAU, G. Variation de la granulometrie du charriage dans une section de rivière — *Proceedings I. A. H. R.* Minnesota 1953.
- (<sup>14</sup>) DR. SCHAFFERNAK, F. Neue Grundlagen für die Berechnung der Geschiebeführung. (The new theory for the computation of bed-load transport.) Leipzig und Wien 1922.



- (15) SIKORA, H. Erfahrungen mit dem elektro-akustischen Geschiebe-Abhörverfahren. (Experience with the electro-acoustical bed-load recorder.)
- (16) SMOLTČZYK, H. U. Beitrag zur Ermittlung der Feingeschiebe-Mengenlinie. (Contribution to the determination of fine load.) Berlin, 1955. Mitteilung aus dem Institut für Wasserbau der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg.
- (17) SZOLGAY, J., and NATHER, B. Niektoré poznatky zo štúdia splaveninového režimu Dunaja. (Some aspects of the investigations on bed-load transport of the Danube.) *Vodohospodársky časopis* 1954/1.
- (18) VAN TIL, K. Le transport de sable dans les bras du Rhin aux Pays-Bas. — *Bulletin A. I. P. C. N.* Bruxelles 1956/43-44.
- (19) WALSER, M. E. Etudes récentes du Service Fédéral des Eaux sur quelques aspect particuliers des crues. A. I. H. S. Symposia Darcy, Dijon 1956.

# MESURES RÉCENTES DES DÉPÔTS D'ALLUVIONS DANS CERTAINS DELTAS SUISSES

E. WALSER

*Chef du Service hydrographique au Service fédéral des eaux à Berne*

## RÉSUMÉ

Les mesures répétées de delta permettent une estimation du transport solide annuel moyen de quelques rivières suisses, soit par ex. Baye de Montreux, Cassarate et Maggia.

La mesure du volume des alluvions transportées par un cours d'eau est un problème assez difficile à résoudre. Le contrôle continu du « débit solide », qui est nécessaire pour connaître le volume total des alluvions transportées pendant une certaine série d'années, nécessite des stations de mesurage assez coûteuses.

Cependant, si le cours d'eau se jette dans un lac, les alluvions s'y déposent et forment un delta. La comparaison de deux levés d'un delta, exécutés à deux époques différentes, permet de calculer le volume des alluvions déposées pendant la période écoulée entre les deux levés.

En Suisse, le service fédéral des eaux a exécuté — et exécutera encore — différents levés de deltas ainsi que les calculs y relatifs. La communication no 34 de cet office, parue en 1939 <sup>(1)</sup> contient un résumé des résultats obtenus jusqu'à ce moment-là. Depuis lors, la méthode des levés a été modernisée <sup>(2)</sup> et certains deltas ont été levés à nouveau.

Le tableau ci-après contient, à part certaines valeurs déjà publiées, les résultats des derniers levés.

Cours d'eau Lac	Surface du bassin versant $km^2$	Série d'années	Alluvions déposées : $m^3$ par an et par $km^2$ du bassin versant
Rhin			
Lac de Constance	6961	1921—1931	513
Aar			
Lac de Brienz	554	1898—1933	280
Linth			
Lac de Walenstadt	554	1910—1931	227
Baye de Montreux			
Lac Léman	14,5	1949—1956*	123*
Cassarate			
Lac de Lugano	72,7	1930—1951	240
Ticino, Verzasca et Maggia			
Lac Majeur	2897	1890—1932	388
Maggia seule	926	1890—1932	362
Lac Majeur		1932—1953	262

\* Levé incomplet à titre d'essai, chiffre moins sûr que les autres.

Pour juger les chiffres indiqués ci-dessus et pour les comparer entre-eux, il faut tenir compte des données caractéristiques des bassins versants. Les communications (1) et (2) contiennent certaines descriptions morphologiques, hydrographiques, géologiques et pétrographiques. Pour de plus amples détails, nous renvoyons à d'autres publications du service fédéral des eaux (4), (5) et (6).

#### BIBLIOGRAPHIE

- (1) Mitteilung Nr. 34 des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft : « Deltaaufnahmen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft ». Bern, 1939.
- (2) Mitteilung Nr. 33 des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft : « Untersuchungen in der Natur über Bettbildung, Geschiebe- und Schwebestoffführung ». Bern, 1939.
- (3) « Méthodes du Service fédéral des eaux pour les levés du fond des lacs et des deltas ». *Bulletin technique de la Suisse Romande*, n° 12 du 14 juin 1952, Lausanne, 1952.
- (4) Annuaire hydrographique de la Suisse, Berne, paraît chaque année.
- (5) Régime des eaux en Suisse. Surfaces des bassins de réception, des zones de 300 en 300 m au-dessus de la mer. Berne, 1896-1924.
- (6) Les Forces hydrauliques en Suisse, Partie I C : « Les profils en long ». Berne, 1916.

#### SUMMARY

By repeated measurements of deltas the mean annual volume of the sediments which have been deposited by the river during the time between two measurements can be computed. Results referring to different deltas in Swiss lakes are given.

# STUDIES ON EROSION IN JAPAN

T. ONODERA

## SUMMARY

In Japan, consisting of many islands, with steep topography, and abundant rainfall, naturally or artificially eroded places can be seen on mountains, rivers, beaches, crop fields and forests. So, erosion control works have been done by the privates, and government agencies.

In recent years, research on erosion has been progressed in the fields of hydrology, soil and forest conservation, watershed management, river and beach erosion control, and land sliding counter measure. Especially, quantitative measurements on erosion have been made in some places, by the sounding and bed-load sampling, and so on. Introduction to these topics would be seen in our national report and quantity of erosion observed in a crop field or river, also, would be seen therein.

## Preface

Owing to its natural and artificial circumstances, Japan has had damages caused by land erosion from ancient times. As the scientific study on erosion has arisen from the interest to encounter it, various studies are being made by the concerned organization according to their objects.

Studies on erosion in various fields are summarized in this bulletin by the Science and Techniques Agency of Japan to present as her national paper to the Erosion Commission, IASH at the XIth General Assembly of IUGG to be held in Toronto 1957.

## Contents

1. Natural and social circumstances of Japan concerning to erosion
  - 1.1 Natural geographical circumstances
  - 1.2. Social circumstances
2. Present state of study on erosion
  - 2.1. Studies aiming chiefly at soil conservation
  - 2.2. Studies aiming chiefly at the erosion protection of forest land.
  - 2.3. Studies aiming at the conservation of railway route.
  - 2.4. Studies chiefly aiming to contribute to river planning
  - 2.5. Studies on sedimentation in reservoirs
  - 2.6. Studies on erosion from academic interests
3. Methods of studies or measurement of erosion and the results obtained
4. Recommendation

## 1. NATURAL AND SOCIAL CIRCUMSTANCES OF JAPAN CONCERNING TO EROSION

### 1.1. *Natural geographical circumstances*

Japanese Islands form Festoon Islands as a part of folded zone at the margin of Asiatic continent. Hereat the natural geography of Japan is distinctly governed by the tectonic geology characterised by her genesis and it has the following characteristics.

1.1.1. Geomorphological characteristics: Japanese Islands, surrounded by ocean, are geomorphologically steep, 68% of the total area of 37 million sq. km is covered by mountaneous forest, and the rivers have comparatively steep gradient as shown in Table 1, it is particularly so in the rivers with transversal course to the Islands such as the Jintsu River.

TABLE 1

*Distance ( km) from the river-mouth to the point of elevation 100 m.*

Japan		Foreign countries	
Toné River.	202	Elbe	662
Kitakami R.	171	Oder	620
Shinano R.	119	Seine	548
Kiso R.	84	Weser	400
Jintsu R.	27	Rohne	220

These geomorphological conditions, compared to the opposite ones, have influence to accelerate erosion and at the same time they increase the tractive force of the rivers. Sand and gravel transported by the rivers to the sea are also transported by the litoral current to drift or deposit variously according to the meteorological condition.

1.1.2. Geological characteristics: Geology of Japanese Islands are shattered into mosaic blocks by many groups of faults or shear zones, and some of these geotectonic lines belong to very recent period. The Islands are contained in Circum-Pacific volcanic zone, and the volcanic properties also affect on the tectonogeological natural character of Japan. The volcanic and earthquake activities are heavy too, and it is one of the characteristics that clayey materials are produced and altered to another ones by those activities.

These features modify the geology of Japan (senses) susceptible to erosion compared to the monotonous continental aspect of geology.

1.1.3. Meteorological characteristics: Owing to the topography and to the situation on the earth, Japan belongs to one of the most precipitous zone in the world as shown in Table 2.

The precipitation differs considerably by place and by season. Annual precipitation ranges from more than 4,000 mm (Owase, in Kii Peninsula) to less than 1,000 mm (Obihiro in Hokkaido). And the amount inclines to be much in the typhoon season concentrated in September; it also inclines to be much in the early summer (June — July) rainy season in the district along the Pacific Ocean and in the snowy season in the region along the Japan Sea. In both regions heavy rainfall which gives maximum daily precipitation always is caused by typhoon or rainy season.

Generally speaking, as the weather in Japan moves from the west to the east the wind also follows it, and there are some districts in which the seasonal wind is considerably strong. In those districts where the coast is composed of beach sand, sand-dunes are produced to be migrated by the wind erosion.



TABLE 2

*Mean monthly precipitation of principal cities in the world*

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total	Stat. Years
Greenwich	56	37	41	52	48	40	49	53	52	66	(73)	48	611	1931~1940
Berlin	43	52	58	70	81	104	99	102	83	92	67	57	922	1864~1900
Paris	45	38	43	52	49	55	59	59	43	62	57	60	622	1901~1930
Junis	53	51	46	38	23	13	3	5	25	48	51	61	424	
Roma	84	66	74	66	56	38	18	25	64	127	114	99	828	
Wash- ingtonDC	88	89	93	84	92	107	118	100	83	71	61	82	1072	
Toronto	70	68	62	64	72	69	73	71	78	61	72	66	826	1843~1933
Cairo	(5)	(5)	(5)	3	3	0	0	0	0	3	3	5	28	
Colombo	97	86	108	240	419	204	116	173	165	372	371	141	2492	1931~1940
Tokyo	49	74	104	133	146	169	143	156	228	207	99	56	1564	1875~1950
Melbourne	49	44	56	56	55	53	47	48	62	67	57	58	652	71 years
Rio de Janeiro	124	123	133	108	80	58	22	44	67	82	105	136	1099	1851~1925

The meteorological conditions stated above, especially the early summer rains caused by frontal (prescittation) and the heavy rains caused by typhoon, become the important direct cause of various phenomena related to land erosions such as rock-slips on mountain-side, soil erosion, rock-avalanche etc; tractive and suspended transportation by running water, sedimentation, coastal drift etc.

## 1.2. Social circumstances

On the social hand Japan has population of 89,264,000 in 1955 and the proportion to the area of the whole country is 0.43 ha per one head. From the topographical limitation, as the arable land per one population is only 0.07 ha, not only the narrow land along the river among the steep mountaneous region is cultivated but also the more steep land on the mountain side is cultivated; and this fact has intimate connection with land erosion. Unarable mountaneous land, except the volcano or other special narrow district, is utilized as forest land; and it is now in the state to happen that the excavation on the steep mountain side for road construction to transport the timbers ont of the deep mountain is to accelerate the natural erosion. Recently it has become active to construct multi-purpose dams in Japan, and the problems of sedimentation in the reservoirs of the sediments transported by the rivers have become concerns of reservoir capacity and accordingly to the hydro-electric works. At the same time, this is the problem concerning the change of down stream river bed caused by the ceasing of sand and gravel transported by the river and consequently influencing upon the change of river mouth, coastal drift and beach erosion. The same problem will arise as to the mining of sand and gravel utilizing as aggregates.

Japan under the natural and social circumstances stated above, has received damages caused by erosion from ancient times. In the damages are contained two

types, the one causes conspicuous damage in a short period such as rock-slips by heavy rain and mud-and rock-avalanche subsequent to them; and the other causes damages after accumulated for a long duration such as land-slide of creeping character, filling up of reservoir, change of river-bed and-mouth, migration of sand-dune and continued soil erosion caused by small scale rain-fall or snow-melting. To encounter these damages, various erosion control methods have been taken up in Japan called «Sabo» which means to protect against sand.

## 2. PRESENT STATE OF STUDY ON EROSION

Though «Sabo» works have been improved, at present as it is felt necessary to investigate the origin and the cause of damages by land erosion various studies are made by various organizations to plan and perform the countermeasures.

Japanese government Organizations related to erosion protection are Ministry of Agriculture and Forestry, Forestry Agency, Ministry of Transportation, and Ministry of Construction. Each of them is investigating and studying erosion and is executing its protection works. The works are performed by their Branch Office or by the corresponding division of each Prefectural Government. Most of these Government Organizations have Research Institutes as their attached organizations and among these are Agricultural Technic Research Institute, Ministry of Agriculture and Forestry, Government Forest Experiment Station, Transport Technics Research Institute, Ministry of Transportation; Public Works Research Institute, Ministry of Construction; and their branch offices or experiment stations etc.

As the sedimentation in the reservoir is of important interests for the Electric Companies, studies in this field are being done by the Central Research Institute of electric Power Industry.

In the Institutes related to the Universities or Colleges, natural scientists are studying erosion in the field of geophysics, hydrology, geology and geography; engineers are studying erosion for the purpose of river or harbour planning to encounter erosion; and researchers in agricultural field are studying in the stand point of soil conservation or conservation of forest land.

Some of the main investigations or studies being carried on by the fields above stated will be described briefly in the followings.

### 2.1. *Studies aiming chiefly at soil conservation*

Ministry of Agriculture and Forestry in its Agricultural land Bureau is investigating erosion to get the fundamental data to plan and design the conservation works of farm land.

Since 1953 ten test areas representing each topographical, geological and farming, are selected over the country and are investigated on the following items.

1. Conditions or states of topography, geology, soil, utilization and soil erosion.
2. Measuring the amount of rain-fall.
3. Measuring the amount of run-off.
4. Measuring the amount of soil carried away.

Agricultural Improvement Bureau, M.A.F., is taking charge of researches in that Ministry and as to the erosion, investigations are made on soil erosion aiming chiefly at the conservation. The research works and experiments are carried out on the following items by the Agricultural Technic Research Institute, four Regional Experiment Farm and four Prefectural Experiment Station distributed over the country.

1. Investigations on the aspect of soil-erosion and-conservation, and studies on the land utilization fitted to the regional condition.
2. Relation between soil conservation and the arrangement or mode of planting of crops or forest.
3. Studies on the methods of works for farm land conservation.
4. Relation between physico-chemical properties of soils and erosion.
5. Effect of rain-drops on erosion.
6. Relation between erosion and the circulation of water such as rainfall, run-off and percolation.

## *2.2. Studies aiming chiefly at the erosion protection of forest land.*

In forestry Agency studies on the following items are carried on by the government Forests Experiment Station and its five Branch Stations for the purpose to protect the forest land and to clarify the protecting ability of the forest against land erosion.

1. Studies on the protecting ability of forest against land-slip.
2. Studies on vegetation for erosion control.
3. Studies on the ability of forest against flood protection.
4. Studies on the method of execution for beach erosion protection.
5. Studies on the method to protect against the freezing of forest land.

## *2.3 Studies aiming at the conservation of rail-way route.*

The Ministry of Transportation is contributing to the counter-measures against land-slide by studying on the test field chosen by its Transport Technics Research Institute.

## *2.4. Studies chiefly aiming to river planning.*

In the Ministry of Construction the major interest is on the erosion that affect the river planning. Accordingly investigations or studies on the erosion belong to the River Bureau to get the fundamental data to plan the erosion protection works on the up-stream land water-shed. The investigation works are carried out since 1948 by the District Construction Bureaus and by the concerned divisions of the Prefectural Government. The Ministry of Construction intends to improve and continue and to analyse the land erosion qualitatively and quantitatively for the purpose to let the «Sabo» works match with the river improvement on the lower part of the river.

A) Investigations to get the fundamental data: By surveying the following items it is planned to find the qualitative and quantitative relationship between the scale of land-slip or other erosion that had happened and the factors affecting it, and to foreknow the scale and mechanism of the land-slip or other erosion to happen in future.

1. Survey on the scale (depth, breadth and length), position, shape, inclination, geology, causes etc., by field inspection and measuring.
2. Investigation on the rain-fall, ground-water, soil and other hydrology.
3. Investigation on the surface erosion.
4. Investigation on surface erosion and percolation in the weathered granite region.

B) Investigation on the quantities of debris transported by the river: It is intended to find relationship between the quantities of debris and the factors relating to its transportation by investigating the following items on the river, on which water shed the items A) described above are being investigated.

1. Amount of change of river-bed, amount of sediments by dams, amount of bed-load transportation etc.
2. Rain-fall, water level, discharge, quality of water, grading of bed materials etc.
3. And besides these researchs on the debris transportation are being carried out using radio isotope ( $\text{Co}^{60}$ ).

As for the Ministry of Construction, studies on the followings are carried out by the Public Works Research Institute attached to it,

1. Geological Studies on erosion.
2. Soil mechanical studies on land-slide.
3. Studies on bed load transportation in the river.
4. Studies on beach erosion and littoral drift.

## 2.5. *Studies on sedimentation in reservoirs.*

Studies on erosion at the Electric Companies are carried out on the sedimentation in the reservoirs by the Central Research Institute of Electric Power Industry of the Companies since 1948 as follows:

1. Investigating the topography and geology of the catchment area mainly on the maps, and
2. Measuring the annual amount of deposition in the reservoirs,
3. Discussed the relation between 1) and 2).
4. Advancing the above, relation between the elongation of the river in a catchment area and the amount of sediments in the reservoirs are being studied now.
5. Moreover, mechanism of sedimentation in the reservoir is now studied by sampling the silt in the reservoirs in three sites to contribute to device to remove sediments out of the reservoir.

## 2.6. *Studies on erosion from accademic interests.*

While studies stated above have arisen from the necessities in each work object, on the other hand there have arisen studies from academic interests, and they are done mainly by the researchers related to Universities or Colleges as follows.

Studies in the fields of natural science: On the one hand, geomorphologists pay attention to the difference of topography according to difference of erosion and endeavour to establish the method of expressing the erosion, erodibility or the topography which is the result of some erosion. On the other hand they are studying on the mode of transportation of sands and gravels by running water and on its characteristics due to rivers.

As we have no independent course on hydrology in Japanese educational course, researchers, who may be called hydrologists, are substantially geophysicists, geologists, geomorphologists or civil engineers. Accordingly erosion is studied in the Universities or Colleges not in the course of hydrology but in the courses of divisions in which the researchers have grown up.

As in Japan principal interests of geophysicists from old have been in the seismology, it is rather in recent years that oceanography and physiography have been taken into their field. Problems of flood control and beach erosion have also been taken up for four or five years, and studies on erosion in Japan will make rapid geophysical advance. Though the parts of chemists in the study of erosion are important, no consistent contribution is done yet in Japan and their future cooperation is desired.

Though the interests of geologists on erosion had been directed only on the erosion of very long period of geological scale, since about 1945 they have become to be interested in the erosion process including land-slide or land-slip now taking place, and at present several geologists are engaged in the studies on the land-slip



on the mountaineous land, on the aspects of transportation by traction or suspension of the materials produced by the land-slip, and on the mode of sedimentation etc, relating to meteorology and hydrology.

Studies on erosion in the field of civil engineering: River engineers have some to notice that their hydraulics is never applicable to practical cases disregarding the tractive or suspended matters carried by the river. From this point of view hydraulic studies on the properties of the mixtures of water and granular materials and some small scale experiments have been done by a few researchers in the field of civil engineering.

Studies on erosion in the field of agriculture: Studies on erosion in the agricultural field had began about 1900, and on the one hand studies on the mountainside erosion, mountaineous meteorology and wind erosion are succeeded by those related to forestry, on the other hand in the field of agricultural engineering studies are done mainly on the ravine erosion and protection against mud—and gravel- avalanche. Since about 1950 in the Universities or Colleges newly established in many places throughout the country studies are being made on the subjects characteristic of each district.

### 3. *Methods of studies, or measurement of erosion and the results obtained.*

Methods of studies, measuring device and the results obtained in the various fields of researches described above are found in the appendices No. 1 — 7 as listed in the contents. Chief of the literatures are listed in appendix No. 8.

### 4. *Recommendation*

In Japan studies on the phenomena of erosion are made in various fields for their own purposes to explain the phenomena and to encounter erosion. And henceforth it is hoped that the specialized fields co-operate to study synthetically. In this point much will be expected in the activities of National Committee on Erosion and it is intended to do good in exchanging informations through the International Commission of Erosion in IUGG.

## *Appendix No. 1.*

### QUANTITATIVE MEASURING METHOD ON EROSION IN AGRICULTURAL AND FORESTRY FIELDS

#### *App. 1 — 1. Measuring on soil erosion*

In the Agricultural Improvement Bureau, Ministry of Agriculture and Forestry, the quantity of soil erosion is measured as follows.

1. On the catchment area of a river several ha or several ten ha wide, the quantity of the soil eroded (and transported by the river) is calculated from the amount of soil deposited from the river water into a tank and by the turbidity of the river water flowing over the weir; the discharge is found by the records of water levels of overflow depths on the weir.
2. On the large catchment area the quantity is presumed from the amount of sediment in the reservoir during certain period or flood and from the soil contents of the water passed through the reservoir.
3. To measure the soil erosion on the slope of various conditions, frames with various soil and crop conditions from several meters to several ten meters long and wide are set up on the slope, and the discharge of surface water and the amount of soil washed out of the frame are measured.
4. To measure the changing of the surface of slope, stakes are driven in on the slope and the amount of eroded depth or depth of sediments is measured by referring to the stakes to see the aspect of soil erosion on the slope.





Fig. 1

5. On the water-shed where gullies and rills are developing, their distribution, scale, and developing speed are measured.
6. Mechanism of soil erosion are studied in laboratories or test fields by artificial rain.

*App. 1 — 2. Quantitative measuring on the erosion of forest land*

In Forest Agency following methods are taken to measure the quantitative difference of eroded sand and soil on the forest land slope by the difference of condition of the slope.

1. Stakes are so driven in perpendicularly to the slope as their tops coincide with the surface of the slope, and the amount of the eroded parts is measured by the length of the stakes exposed by erosion thereafter. The amount is to be related to the amount of rain fall.
2. A part of ravine bed is consolidated and a frame of suitable volume in which the sand and gravel are deposited is set up to measure the quantities of materials transported and deposited in it by ravines by one rainfall duration in weight to be converted to volume.

3. The slope is divided into sections, the surface of each section representing each conditions, and the difference of the amount of soil eroded out of each section due to the surface conditions is known by measuring the amount of soil deposited in the portion adjacent to the lower end of each section.
4. The quantities of sands and gravels deposited by «Sabo» dams are measured by surveying them every time.
5. The turbidity of river water at the up-stream part of the river used as the source of water sorks is measured and the quantities of material stransported in suspension are converted from the turbidity.

*App. 1 — 3. Method of investigation on erosion by Ministry of Construction*

As the granite consists 35% of the geology in Japan and the materials eroded out of the decomposed granite are causing practical damages, the Ministry of Construction has chosen a test area to study the erosion and to test the counter-measures. The area is on the mountain side, in Gifu Pref. 39,000 sq., m wide and in the area trenches are dug along the countours and the following items are investigated to find out the relation between rainfall and the amount of materials eroded out by the rain. It is also expected to see the temporar reserving effect of the materials by the trenches.

1. Discharge of the rain into the trenches.
2. Percolation into or out of the trench.
3. Rainfall and the groundwater condition.
4. Amount of materials washed out the slope into the trenches.
5. Water content of the slope.

Some of the quantitative results are summarized in Appendix No. 7.

*Appendix No. 2.*

**STUDIES ON THE TRANSPORTATION OF GRAVELLY MATERIALS UTILIZING RADIO ISOTOPE ( $\text{Co}^{60}$ ).**

Since 1952, on the upper Tone River, the Ministry of Construction has devised the methods of utilizing the radio isotope ( $\text{Co}^{60}$ ) to investigate the aspects of transportation of gravels and the vertical distribution of sand and gravels transported by flood.

Though the observation is done every flood time, unfortunately as no serious flood is met since the device was set up, no sufficient datum is obtained yet. The method of observation is as follows:

Investigation on the travelling of cobbles: It is intended to see the aspect of travelling of various cobbles and gravels by each flood to presume the total amount of the materials classified according to the size passing through a point transported by the flood, and to identify the samples radio isotope is utilized. Cobbles of various size are collected from the river bed, and painted red. A hole  $3/4$  inch diameter 4 — 8 inches long is drilled in each cobble and a glass tube containing 3 — 6 m.c. of  $\text{Co}^{60}$  isinserted and filled with cement mortar. The samples of cobbles are arranged on the river bed and after a flood the distribution of the samples are detected by Geiger Muller survey meter.

Investigation on the vertical distribution of materials transported by flood:

A test station was constructed as shown in Fig. App. 2-1. The station is designed to diverse a part of the river water, through an open channel parallel to the flow line to the sedimentation basin where the materials transported by the streams are deposited due to the decrease of velocity by the widening of sectional area. The materials

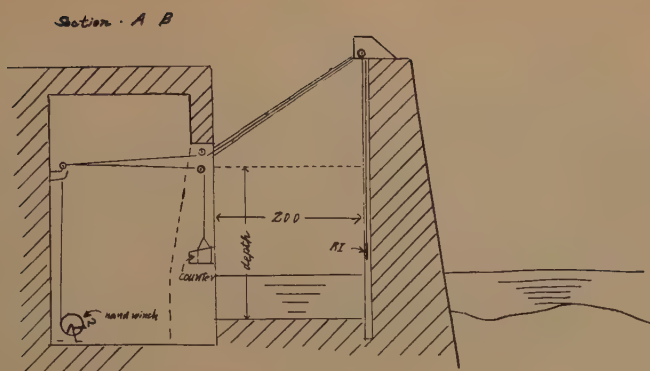


Fig. 2-1

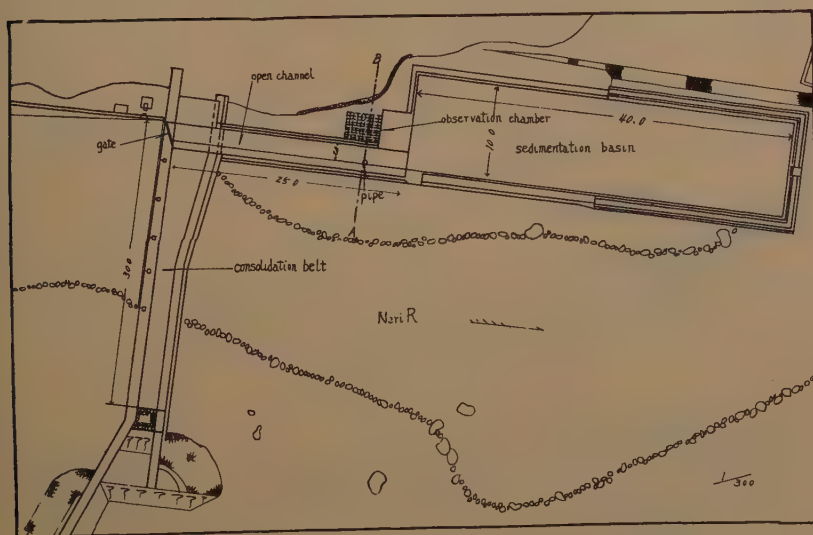


Fig. 2-2

deposited in the basin are weighed and sieved. The vertical distribution of the materials being transported by the flood can be measured at the section AB of open channel by utilising radio isotope. In this section (Fig. App. 2-2) radio isotope, inserted in the pipe on the other side of the channel from the observation chamber, can be moved up and down synchronously with the scintillation counter in the chamber by a hand winch. Materials transported by the flood in the channel interrupt the radiation of radio isotope differently according to their density, and the amount of vertical distribution is measured by the scintillation counter movable in the range of the depth of the channel.

## SAMPLING DEVICE FOR SAND TRANSPORTED IN TRACTION

A sampler to collect the sand in traction on the stream bed is devised in the Public Works Research Institute, Ministry of Construction.

The sampler consists in container part and the wings as shown in Fig. App. 3-1. The upper face, base and sides of the container are composed of wire mesh, and the upstream (AA) and downstream (BB) faces are open. In the sampling chamber (the hatched part in the figure) the sand is collected. The upper face, base both sides and the down-stream face of the chamber is also made of wire mesh, and on the edge of its up-stream face has spring-hinged lid of wire mesh. The holes I and II are joined with a string with which the sampler is hung from above the water. With another string, tied to hole III and held from upstream side, the sampler is kept in suitable position. When the sampler is in hung position the lid of the chamber is in the position a. A piece of string is tied at the lower end of the midpoint of the lid which is tied to the string joining I and II or brought up above the water through two pulleys. The sampler is hung by two strings and is put down to the bed, and in the stream the open part of the chamber is always directed upstream by the action of the wings. When the sampler reaches the bed, the string tied to the lid or the string joining I and II is loosened, the lid opens to the position by the action of spring-hinge. Then the sand flows into the chamber.

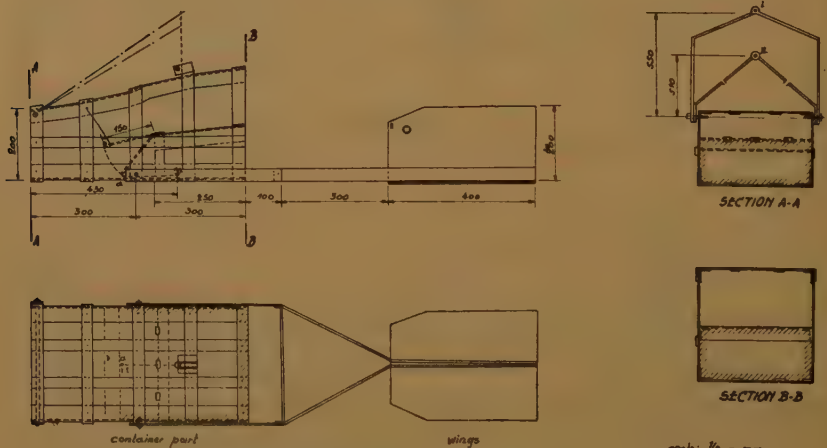


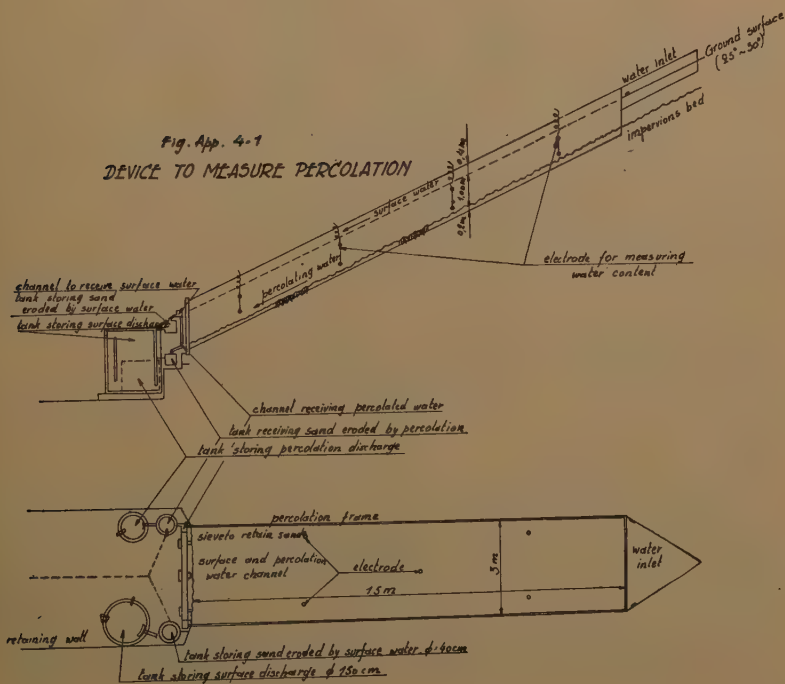
Fig. App. 3-1  
SAMPLER FOR SANDS IN TRACTION

In certain time, when the string is pulled or when the sampler is hung, the lid closes again to the position a, and the sample transported in certain period remains in the chamber. The opening of the wire-mesh attached to the chamber is determined by the smallest particle size of the bed load materials. The height of the sampling chamber needs to be more than three times of the greatest grain size.

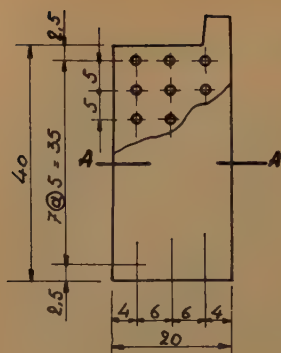
Surface erosion of the granite region is studied by the Rokko Construction Office, Ministry of Construction too, on the Mt. Rokko near Kobe. The environs of the Rokko is a hilly land mass of which elevation is less than 1000 m and consists mainly of granite. Many streams having its course of 8 — 10 km rise from the Rokko to flow southward into the Osaka Bay. Along the coast there are situated cities of Kobe, Ashiys and Nishinomiya. In July 1935 and July 1938 the area was visited by abnormally heavy rain and innumerable land slips had happened. Especially in 1938 sand and rock avalanche had caused great damages on the cities. the mean rain-fall in an hour at the time was 40 mm, the greatest hourly rain-fall was 56 mm (Kobe Oceanic meteorological Observatory), and the amount of sand and gravel washed out is said to be more than  $6 \times 10^6$  cu. m., Most of slips in the region are happened where the thickness of the loose materials on the surface is from one meter to two meters.

Having regards to the circumstances stated above, it was determined to investigate the mechanism and process of the slipping in relation to geology vegetation, soil, rain-fall and percolation etc. The Sumiyoshi River area (catchment area about 11.0 sq km) and the Ashiya River area (catchment area about 8.4 sq km) were chosen as sample areas. A part of the equipment was set up in 1956, and the studies has just begun on the followings.

1. Geology and forestry: Both areas consist mainly of coarse grained bitotite granite and the decomposition is remarkable in the Ashiya River area. On the upper part of the land there exist thrust-faults and fissures are developed in the granite. The







SECTION A-A

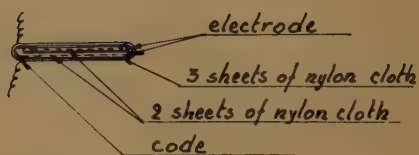


Fig. App. 4-2

## ELECTRODE FOR MEASURING WATER CONTENT

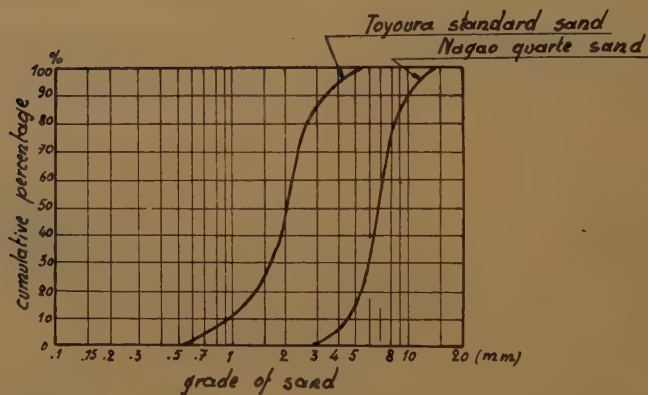


Fig. App. 4-3

## GRADING CHART OF THE SAND USED IN EROSION TEST

overburden is shallow to show good exposures. On the lower part in both areas there develop the tertiary system and the diluvium. Main forestry in both areas is *Pinus densiflora* intermingled with bush and herbs, and the forestry is sparse and poor, and the Ashiya River area has many bald land.

2. Observation of rain-fall: Ten self-recording rain-gauges were set up in the Sumiyoshi River area and six in the Ashiya River area; atmospheric pressure and temperature are measured on the flat land. As the gauging is to get the heavy rain, observation is made during the rainy seasons of the year from June to October.

3. Investigation on percolation: Percolation observation frame was set up in both areas. The thickness of the overburden in the tank is 1 m in the Sumiyoshi area and 0.6 m in the Ashiya area, the inclination of impervious soil is about 30°, the frame is cut off from out-side by the concrete wall of 3 m + 15 m to prevent the overflowing of surface water in the box. The surface flow and the percolated water inside of the frame are collected separately to flow into each measuring tank. Electrodes as shown in Fig. App. 4 — 2, consisting of nylon cloth and two sheets of stainless steel perforated with small holes, are inserted as shown in Fig. App. 4 — 1, their vertical distance is 20 cm. Electrical resistivity between the electrodes is measured by low frequency oscillator and Wheatstone bridge and the water content of the overburden can be determined by the calibration curve on each measuring site. Thus the values of water content are measured during and after the rain and their relation to the rainfall is to be seen. By the variation of water content at each electrode the state of percolation or the percolation velocity is obtained.
4. Experiment on percolation: Model slope is made in the box with one side of glass plate and impervious base plate inclined to represent the desired slope to be tested. Sand is put in the box on the inclined base plate to represent the model slope, crystals of  $\text{KMnO}_4$  are buried in the sand in contact with the glass, and the lines coloured by the dissolving of  $\text{KMnO}_4$  by the percolating water are traced in certain time intervals to see the wetting front. The raising of the water table is measured in the glass tubes inserted in the sand.

Experiments were carried on two kinds of quartz sands of which gradings are shown in Fig. App. 4 — 3, on the followings.

1. The bulging-out of the lower part of the slope by the hydraulic pressure of percolating water. 2. The flowing-out of the sand grains due to piping. 3. Surface erosion by running water. 4. The flowing out of sand grains due to thin layer flow which occurs on the surface below the intersection of the raised ground-water surface and the slope. 5. The flowing-out of sand grains due to the percolating-out of the percolation flowing under the slope. Besides these following remarks were proposed as to the field percolation test. 1. The antecedent soil moisture content (moisture content of soil beforehand the rain) does affect the percolation of the rain into the ground. 2. The allowable storage capacity (difference between the saturated water content and the water content of the time considered) does affect the time of flowing-out of the sand-grains and beginning to slip after it began to rain. And 3. it is important to know that water-content of the various points in the soil before the rain and to see the variation of the wetting front during the rain.

#### *Appendix No. 5.*

LIST OF VEGETATION DURABLE AGAINST CHLORINE TO BE UTILIZED IN BEACH SAND PROTECTION

#### *Trees:*

1. *Pinus thumbergii* Parl
2. *Alnus firma* Sieb. et Zuc. van Sieboldiana.
3. *Alnus firma* Sieb. et Zuc. van Multinerva Regel.
4. *Robina pseudacacia*.
5. *Elaeagnaceae crispa* Thum.
6. *Eurya japonica* Thum.
7. *Myrica rubra* Sieb et Zuc.

*Plants:*

1. *Lathyrus maritimus* Bigel.
2. *Elymus mollis* Trin.
3. *Calystegia Soldanella* R. Br.
4. *Carex macrocephala* Willd. forma *Kobougi* Makino.

*Appendix No. 6.*

QUANTITIES OF SAND AND GRAVEL TRANSPORTED BY RIVERS.

The following resumes are among the investigation on the quantities of sand and gravel transported by torrential rivers by the Ministry of Construction.

6 — 1. *Quantities of sand and gravel transported by the Joganji River.*

The Joganji River is a torrential river rising in the volcano Tateyama 3,015 m high, emptying in the Japan sea, and having its drainage area 68,200 ha, in which the mountainous part is 43,900 ha. There are 3,800 ha of bad lands in the drainage area and those near the Tateyama hot spring are most remarkable having more than 1,000 ha.

The environs of Tateyama hot spring is situated at 1,400 m above the sea level on the old explosion crater. The geology is agglomerate of 50 — 100 m thick overlying the granite or gneiss and overlain by autometamorphosed agglomerate or propylite. The agglomerate is soft and loose accompanying volcanic sand and ash in a part, it is softened by the volcanic action, it contains secondary sand and gravel deposits in no less amount caused by sand and gravel avalanche. The mean annual production of sand and gravel presumed by the survey on the deposition by the «sabo» dams is 100 million cu. m. in normal year, 500 million cu. m. in the heavy year and 120 million cu. m. in the mean. The mean annual precipitation in the district is 2,231 mm at Kanazawa, 1,785 mm at Niigata and 2,311 mm at Fushiki. The peak of the annual precipitation appears in August by rain and in September — January by snow and the discharge of the Joganji shows its peak in April — May by the thawing of snow (mean monthly discharge 60 — 80 cu. m. per second) and in July — August by early summer rain at times.

6 — 2. *Quantities of sand and gravel transported by the Kurobe River*

The Kurobe River is a torrential river, has its drainage area elongated from the south to the north, and flows into the Japan sea, surrounded by the Tateyama mountain ranges 2,500 — 3,00 m high and by the Shirouma ranges of similar height. On the upper part of the river there develop gneiss, gneissose granite, serpentine and phyllite, and in a part there distribute andesitic lava and agglomerate of the volcano Tateyama. The Kurobe has its drainage area 75,600 ha, among which the mountainous area is 59,700 ha, and the area of bad land is 1,250 ha. The topography is in the mature stage and the bank on the both sides are very steep, and there are many hot springs. The annual quantity of sand and gravel transported by the river, calculated from the survey on the sedimentation due to the «sabo» dams, is 100 million cu. m. in average of the heavy years of 1937 and 1938, and the quantity which passed over the dams is not included in the calculation. In the average year the amount is about 1/2 — 1/3 of it. The bed load materials are observed to migrate forming long sand bars. The amount of regional precipitation of the Kurobe River is just the same as for the Joganji River just described.

### 6—3. Quantities of sand and gravel transported by the Shigenobu River.

The Shigenobu River is a torrential river along the greatest geotectonic line in Japan called Median Dislocation Line dividing the geology of southwestern Japan into the inner and the outer zones; it flows into the Inland Sea Setouchi at the west of Matsuyama in Shikoku. The area of its drainage basin is 445 sq. km, among which 358 sq. km is in the mountain and 87 sq. km is in the flat land, the longitudinal inclination of the river is 1/18 on the mountainous part, and 1/40 in the flat-land part. In the mountainous part the area is surrounded by ridges of the order of 1200 m.d. above the sea level and the physiographic dissection is advanced. The geology of the area, excepting the northpart consisting of granite, belongs mostly to the sandstone of the cretaceous system except on the southern part where tertiary system and andesite are distributed. The strata have general strike of N 70° — 80° E and dipping to S or N, and the land-slips are abundant on the northern mountainous land. The quantity of the sand and gravel per 1 sq. km of the mountainous land on the area where the slipping was heavy, calculated from the quantity of sand and gravel deposited by the «sabo» dam during 1951 — 1953, is about 2,000 cu. m. per sq. km. The continued amount of rainfall that caused the deposition of sand and gravel by the «sabo» dam was 450 mm in 1951, 292 mm in 1952 and 86 mm in 1953.

#### Appendix No. 7

#### QUANTITIES OF EROSION RELATED TO AGRICULTURE AND FORESTRY

The followings are some of the quantitative results obtained by the studies described in the text.

#### App. 7 — 1. The examples of amount of erosion on the bald land are shown

App. 7 — 1. The examples of amount of erosion on the bald land are shown in table App. 7-1. It can be seen that the materials removed off the slope of bald land per annum amount to 20 — 30 mm, and the amount is not only related to the precipitation but also the factors such as freezing and thawing of soil, variation of wind and temperature etc.

TABLE APP. 7 — 1.

area	inclination of slope	soil	base rock	annual precipitation (mm)	annual eroded depth (mm)
Arao River	35—54	clayey, sandy	tertiary	1800	32
Doki R.	25—40	sandy	tertiary	1900	30
		gravelly-sandy			
Koza R.	26—29	sandy	granite	1800	29
Yoshii R.	25—40	sandy-loamy	granite	1900	17
Hidaka R.	36	sandy	mesozoic	2300	20

App. 7 — 2. The annual depth of erosion on the slope where the slipping had happened previously, averages to the order of 5 mm as shown in the Table App.

7-2; and the amount is one several of the slope where no slipping had happened. The amount of erosion has more close relation with the precipitation than the difference of soil or rock.

TABLE App. 7 — 2.

area	mean inclination	soil	base rock	annual eroded depth (mm)
Arao River	40°	clayey sandy	tertiary	9.0
Miya R.	45	gravelly-loamy	granite	4.9
Yoshii R.	35	sandy-loamy	granite	2.8
Nishiki R.	35	loamy	granite palaeozoic	6.7

App. 7 — 3. Among the studies on the difference of erosion by the difference of covering on the slope the followings are some of the results.

a) The effect of deforestation on the amount of eroded sand and soil was tested on the test area in Okayama Prefecture. The geology of the test area, 40 × 20 m wide, is palaeozoic, inclination of the slope is 30°, forestry is *Pinus densiflora*. Their result is shown in Table App. 7-3a.

TABLE App. 7 — 3a.

aspect of deforestation	annual amount eroded (ton/ha)	ratio
totally deforested roots removed	28.53	78
totally deforested	3.66	10
3/4 of the height of the trees cut	2.06	6
1/2 » » »	1.14	3
1/4 » » »	0.75	2
utterly remained	0.35	1

b) The difference of the amount of eroded soil by the kinds of erosion control work on the slope was measured in the test area in Gifu Pref., 4 × 10 m wide, consisting of tertiary strata. The result is summarized in Table App. 7-3b.

TABLE App. 7 — 3b.

inclination of slope	slope faced to	annual depth of soil eroded away (mm) on the slope protected by the erosion control of		
		grading	sod works	brush covering
20	E	3.6	1.6	0.0
30	N	7.4	2.0	0.1
45	N	102.2	14.7	9.5
60	E	96.5	41.0	40.0



App. 7 — 4. Measurement of the quantity of wind erosion: To measure the quantity of sand blown by the wind, samplers 1 m high and 5 cm wide are arranged in various height above the ground and the quantity is measured. Fig. App. 7 — 4. shows examples of the data on the beach in Tottori and Shizuoka Prefectures. The experiment was done on the beach 10 — 20 m from the strand line. At the time of the experiment at Tottori, temporary light rain moistened the sand and caused the quantity to be much less than that of Shizuoka Prefecture.

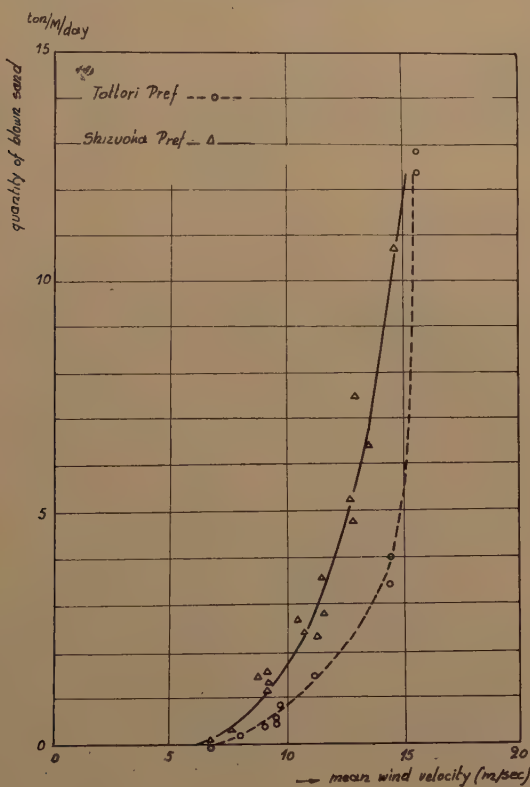


Fig. App. 7-4.  
WIND VELOCITY AND THE QUANTITY  
OF BLOWN SAND

App. 7 — 5. Quantity of soil erosion in cultivated land: On the soil erosion in the cultivate land on the test area, the results shown in Table App. 7-5 are obtained by Agricultural Land Bureau, Ministry of Agriculture and Forestry.

TABLE APP. 1 — 5  
Quantities of soil erosion on the testing farm land.

No.	Name of test area	Elevation	Topography	Geology	Soil
1	Tottori, Uno	30—90	Hill	Pyroxene-andesite	Humus
2	»	»	»	»	»
3	Nagasaki, Kamiura	12—190	Coastal mountain	Crystalline schist	Sandy loam
4	Kumoto, Ikenotaira	480—560	Inside slope of the crater of the Aso Volcano	Volcanic detritus	Black volcanic ash
5	»	»	»	»	»
6	»	»	»	»	»
7	»	»	»	»	»

No.	Dimensions	Inclination of slope	Vegetation	Obs. period	Precipitation during the obs. period (mm)	Annual precipitation (mm)
1	572m <sup>2</sup> Irregular	23°	Peach farm	1955 Apr. 15-Dec. 23	1,087.5	1,453
2	381 m <sup>2</sup>	21°	Sweet potato farm, transverse dyke	1955 Sept. 9-Dec. 23	353.4	»
3	20.3m × 2m	19.5°	»	1955 1956 June 18-May 10	1,615.9	2,058
4	20m × 2m	5°	»	1955 June 19-July 7	701.4	2,512
5	»	»	»	»	»	»
6	14m × 2m	13°	»	»	»	»
7	»	»	»	»	»	»

No.	Run-off (%)	Eroded soil (ton/ha)	Average depth of eroded soil (mm)
1	8	18.15	1.65
2	1	0.08	0.007
3	15.4	9.42	0.725
4	—	65.35	11.80
5	—	69.75	12.68
6	—	48.00	8.73
7	—	58.28	10.59

## 1. Literatures on soil erosion

- (1) KAWAGUCHI, TAKEO: Studies of soil erosion on mountain area. (1) Statistical studies by the former data; *Report of the Government Forest Experiment Station*, No. 61, 1951.
- (2) OGIHARA, SADAC: Erosion control of Japan; *Miscellaneous Information*, The Tokyo University Forests, No. 9, 1952.
- (3) NAMBA, SENSHI and NIRASAWA, SHIZUKO: Studies of soil erosion on mountain area, (2) Erodibility index of soil: *Report of the Government Forest Experiment Station*, No. 70, 1954.
- (4) NOGUCHI, YOICHI: An experiment about the effect of the degree of slope on sediment transportation: *Bulletin of the Tokyo University Forests*, No. 50, 1955.

## 2. Literatures on land-slip or land-slide

- (1) ONODERA, TÖRU & others: Studies on the land-slide in Chausu-Yama, Nagano Prefecture: *Bulletin of the Public Works Research Institute*, No. 10, 1949.
- (2) ONODERA, TÖRU: Studies on the rock-slippings along the Monobe River; *Report of the Public Works Research Institute*, No. 79, 1950.
- (3) NIISAWA, NAOJI: Land-slip and sedimentation; «*Shin-Sabo*», Vol. 9, 1952.
- (4) YAMAGUCHI, ISAO: A study of mud and rock flow in Konuma-mura, Kitasaku-gun, Nagano Pref.; *Miscellaneous Information*, the Tokyo University Forests, No. 9, 1952.
- (5) AKUTAGAWA, SHINJI: On the rock-slips in the north-eastern part of the Gassan, Yamagata Pref.; *Report of the Public Works Research Institute*, No. 86, 1953.
- (6) ONODERA, TORU: Geological study on the rock-slips on the volcano Akagi: *Report of the Investigation on the Katherine typhoon*, Gumma Pref. 1953.
- (7) FUKUOKA, MASAMI: Land-slide at Chausu-yama, *Report of the Public Works Research Institute*, Vol. 86, 1953.
- (8) KAWAGUCHI, TAKEO and NAMBA, SENSHI: A study of the June flood (1953) in Kyushu. Pt. 1. Aso District, VI Erosion Control (1. General); *Bulletin of the Government Forest Experiment Station*, No. 69, 1954.
- (9) KAWAGUCHI, TAKEO and NAMBA, SENSHI: A study of June flood in Kyushu, Pt. 2, Moji District, V. Erosion Control (General) *Bulletin of the Government Forests Experiment Station*, No. 69, 1954.
- (10) KAWAGUCHI, TAKEO and NAMBA, SENSHI: A study of the flood (1953) in Kinki, Pt. 2, Landslides and their control; *Bulletin of the Government Forests Experiment Station*, No. 74, 1954.
- (11) MURAYAMA, SAKURO and MISE, TADASHI: On the works to make impervious zone in the ground of land slide using eletro-chemical hardening method; *Journal of the Japan Society of Civil Engineers*, Vol. XXXIX, No. 11, 1954.
- (12) MURAYAMA, SAKURO and others: A study on the mechanism of flow slide by means of the standard penetration test; *Journal of the Japan Society of Civil Engineers* Vol. XXXX, No. 10, 1955.
- (13) WATANABE, RYUJI and TAKIGUCHI, KIYOSHI: A study of 1954 flood. Pt. III. Yamanashi and Shizuoka Districts, 1. Landslides in the basin of the River Fuji; *Bulletin of the Government Forests Experiment Station*, No. 84, 1956.
- (14) NAMBA, SENSHI and HARA, YOSHIHARU: A study of 1954 flood. Pr. III. Yamanashi and Shizuoka Districts, 2. Landslides in the basins of Rivers Abe and Oi; *Bulletin of the Government Forests Experiment Station*, No. 84, 1956.

## 3. Literatures on the transportation by running water.

- (1) MURAYAMA, MASASHI: Transportation in suspension and solution by the Yodo River and its tributaries; «*Rikusuui Gakkaishi*», No. 3, 1938.
- (2) YATSU, EIJI: Studies on the materials dissolved and suspended in the main rivers in the Kanto district (No. 2); *Bulletin of the Natural Resorces Research Institute*, No. 30, 1952.
- (3) MUROTA, AKIRA: On the relationship between the concentration of suspended sediment and the velocity distribution of water flow; *Journal of the Japan Society of Civil Engineers*, Vol. XXXVIII, No. 10, 1953.

- (<sup>4</sup>) KIKKAWA, HIDEO: On the variation of suspended load in rivers during a flood; *Report of the Public Works Research Institute*, Vol. 87, 1954.
- (<sup>5</sup>) KAKI, TOKUICHI: Experimental studies on the rock avalanche; «*Shin Sabo*», Vol. 19, 1955.
- (<sup>6</sup>) TSUBAKI, TOICHIRO: On the sediment transportation with sand ripples; *Journal of the Japan Society of Civil Engineers*, Vol. XXXX, No. 8, 1955.

#### 4. Literatures on the sedimentation in reservoirs

- (<sup>1</sup>) TANAKE, HARUO: Civil engineering geological studies on the construction of reservoirs in Japan; Pt. II, Civil Engineering geological studies on the silting of reservoirs in Japan; *Report of the Central Research Institute of Electric Power Industry* 1951.
- (<sup>2</sup>) TANAKA, HARUO and ISHIGAI, HIROSHI: On the relation of sedimentation of reservoirs to configuration and nature of rocks of catchment area; *Journal of the Japan Society of Civil Engineers*, Vol. XXXVI, No. 4, 1951.
- (<sup>3</sup>) TANAKA, HARUO: On the bottom deposits on the Senzu reservoir; *Report of the Central Research Institute of Electric Power Industry* 1953.

#### 5. Literatures on the sand drift

- (<sup>1</sup>) HOMMA, MASASHI: Report of investigation on the littoral drift of Japan; *Report of the Public Works Research Institute*, Vol. 73, 1943.
- (<sup>2</sup>) SATO, SEIICHI: Studies on littoral drift. 1-7; *Public Works Research Institute*, Vols. 79-84, 1950-1953.

# LA DÉPENDANCE DE LA GROSSEUR DE LA GRANULATION DU MATÉRIEL DU LIT DANS LES RIVIERES MONTAGNEUSES DE LEURS QUALITÉS PHYSIOGRAPHIQUES

DR. ZBIGNIEW KAJETANOWICZ

*agréé à l'École Polytechnique à Cracovie (Pologne)*

## RÉSUMÉ

Pour prendre connaissance des changements morphologiques se produisant dans les lits des rivières montagneuses par suite du mouvement du gravier du lit, des mesures granulométriques ont été faites sur trois rivières des Carpathes (affluents de la Vistule), notamment: Raba, Dunajec, San, qui diffèrent entre elles sous le rapport de la longueur et de l'extension de leurs bassins. On a élaboré également leurs courbes hypsométriques et leurs inclinaisons (pentes) caractéristiques pour les secteurs particuliers, enfin, on a calculé, s'appuyant sur les courbes de tamisage, les diamètres moyens pour tous les échantillons tamisés.

Ces éléments ont été transportés sur des diagrammes, dont la base (axe  $xx$ ) représente la longueur de la rivière et dont l'axe vertical ( $yy$ ) se compose d'échelles des éléments mesurés.

Un des buts poursuivies dans les études entreprises devait être de préciser la dépendance entre la grosseur de la granulation du gravier et l'inclinaison de la rivière. Mais on a trouvé que pour chaque rivière particulière, les rapports entre les éléments indiqués se forment différemment, ce qui a été représenté sur un diagramme comparatif et par conséquent on a dû prendre en vue de la longueur de la rivière depuis sa source jusqu'au profil étudié, ainsi que l'extension du bassin.

Par suite des essais faits avec l'emploi de ces éléments il a été précisé que parmi toutes les qualités physiographiques du bassin, la plus importante est la configuration horizontale (la configuration verticale détermine l'inclinaison). Par conséquent on a obtenu des rapports suivants:

$$C \cdot M = 10 = \text{constante où}$$

$$C = \frac{G_0}{it_0^{1/3}} \quad \text{et} \quad M = \frac{d}{L} \quad \text{et où}$$

$G_0$  = le diamètre moyen du gravier du lit en mm.

$i$  = inclinaison (pente) redressée de la rivière en ‰.

$t_0$  = profondeur moyenne depuis laquelle commence le mouvement du matériel trainé en m.

$L$  = longueur de la rivière depuis ses sources jusqu'au profil étudié en km.

$d$  = diamètre du cercle dont la surface est égale à celle du bassin au profil étudié (en km).

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 1.13 d^2 \text{ d'ici } d = 1.13 \cdot \sqrt{A}$$

par conséquent :

$$\frac{G_0}{it_0^{1/3}} \cdot \frac{1.13 \sqrt{A}}{L} = 10 \text{ ou après division par 10 :}$$

$$\frac{G_0}{it_0^{1/3}} \cdot \frac{0.113 \sqrt{A}}{L} = 1 \text{ c'est-à-dire}$$

$$\frac{G_0}{it_0^{1/3}} = \frac{0.113 \sqrt{A}}{L}$$

Dans l'équation ci-dessus le côté gauche détermine les facteurs dynamiques, tandis que le côté droit exprime les facteurs physiographiques. Ils produisent ensemble un état d'équilibre instable (commencement du mouvement du gravier). Le  $t_0$  (ou bien le  $G^0$ ) sont ordinairement des valeurs inconnues. Pour les trouver, on soumet l'équation à des transformations nécessaires.

Cette méthode exigerait un contrôle sur un plus grand nombre d'exemples.



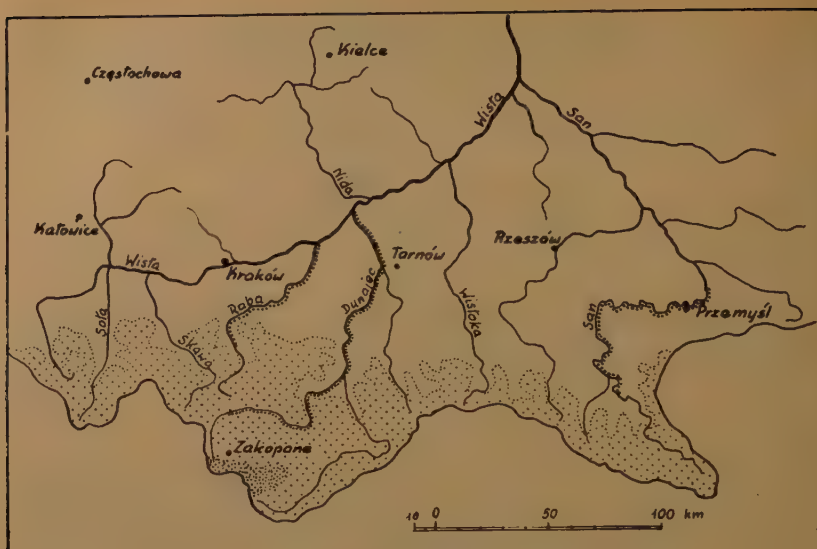


Fig. 1 — Le bassin hydrographique de la Haute Vistule.

L'ouvrage présent est une partie des études entreprises par l'Institut d'Hydrologie de l'Ecole Polytechnique à Cracovie intitulées « Les éléments du cours de l'eau et ceux du matériel rocheux dans les lits naturels ». Il représente un rapport basé sur des recherches menées dans trois rivières des Carpathes — affluents de la Haute Vistule — Raba, Dunajec et San (fig. 1), relativement au problème exposé dans le titre ci-dessus. Des données rassemblées résulte la caractéristique suivante :

	Raba	Dunajec	San
Longueur de la rivière L (km)	130	250	440
Surface du bassin A (km <sup>2</sup> )	1528	6798	16779
Hauteur des sources H <sub>1</sub> <sup>m</sup> (au dessus de la surface de la mer)	780	1770	850
Hauteur de l'embouchure H <sub>2</sub> /m au dessus de la surface de la mer	179	170	139
Différence d'hauteur H (m)	601	1600	771
Pente moyenne H/L = i ‰	4,63	6,40	1,62

Comme il en ressort — les rivières citées diffèrent entre elles sous le rapport de leur extension ainsi que de leur configuration verticale (pente générale et unitaire), ce qui rend possible une généralisation des conclusions prises des recherches exécutées.

Dans le terrain ont été prises seulement des mesures granulométriques du matériel du lit exécutées en plusieurs endroits disposés entre eux à une distance d'un km. Pour chaque échantillon particulier avait été calculé un diamètre moyen G<sub>0</sub>, caractérisant le matériel du lit situé en coupe relative de la rivière.

En vue d'un manque de méthode uniforme de préciser le  $G_0$  pour des mélanges de gravier de composition diverse, je cite ci-dessus la méthode appliquée ici et publiée par moi en 1954.\*

En se basant sur une série d'observations du maintien du lit d'une rivière montagneuse en période de la crue et surtout en observant le maintien des fractions plus grosses du lit, qui enveloppent alors sa surface, je me suis convaincu, que la ligne de division entre ces fractions (d'en haut — situées sur la surface et d'en bas — fractions du reste), coupe par moitié la surface au-dessus de la courbe de tamisage, située en un carré (fig. 2), tandis que le point d'intersection de cette ligne (horizontale)

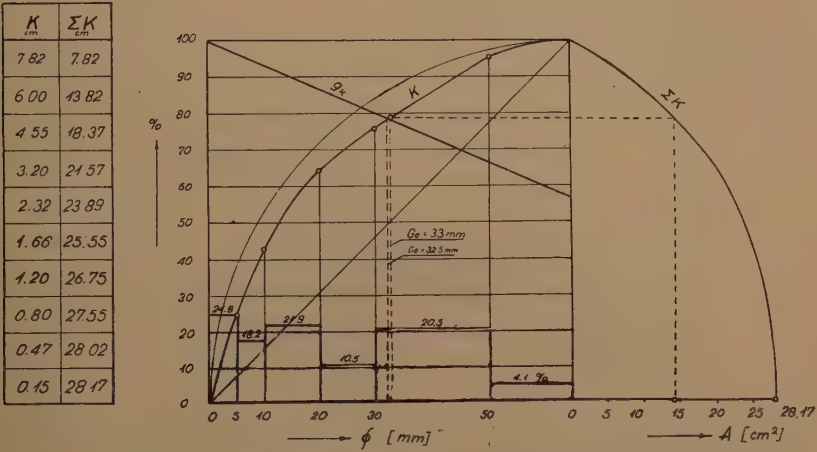


Fig. 2 — Construction graphique pour établir le diamètre moyen du mélange du gravier.

avec la courbe de tamisage indique sur l'axe horizontal le diamètre moyen recherché du gravier  $G_0$  en coupe donnée. La construction qui mène vers le retracement de cette ligne de division est très simple. Nous divisons la surface au-dessus de la courbe en lames horizontales, par exemple à chaque 10 %, et nous en faisons la somme graphiquement, en commençant d'en haut. Nous divisons par moitié le secteur

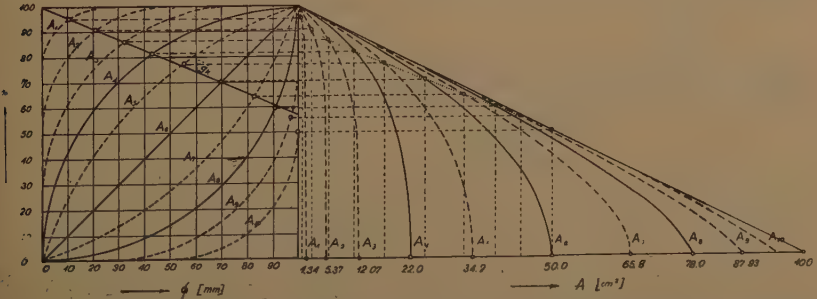


Fig. 3 — Retracement en un carré d'un endroit géométrique de points d'intersection des courbes schématiques de tamisage avec les directes horizontales coupant par moitié les surfaces situées au dessus de ces courbes.

(\*) « Courbe différentiale de la pente et son application » cherchez dans les « Wiadomosci Sluzby Hydrologicznej i Meteorologicznej » Volume 4, Cahier 4 —

horizontal sur l'axe XX du diagramme représentant le montant des lames additionnées et de ce point central nous menons verticalement une ligne de projection sur la courbe d'addition K et de là une autre-horizontalement — vers la courbe de tamisage.

En dessinant dans un carré commun un rang de courbes régulières de tamisage et en exécutant la construction dite pour chacune d'elles (fig. 3), nous obtiendrons sur chaque courbe un point d'intersection avec la directe de division. Tous ces points se rangent en une ligne droite qui est l'endroit géométrique de l'intersection des courbes de tamisage régulières ou à peu près régulières avec les directes de division

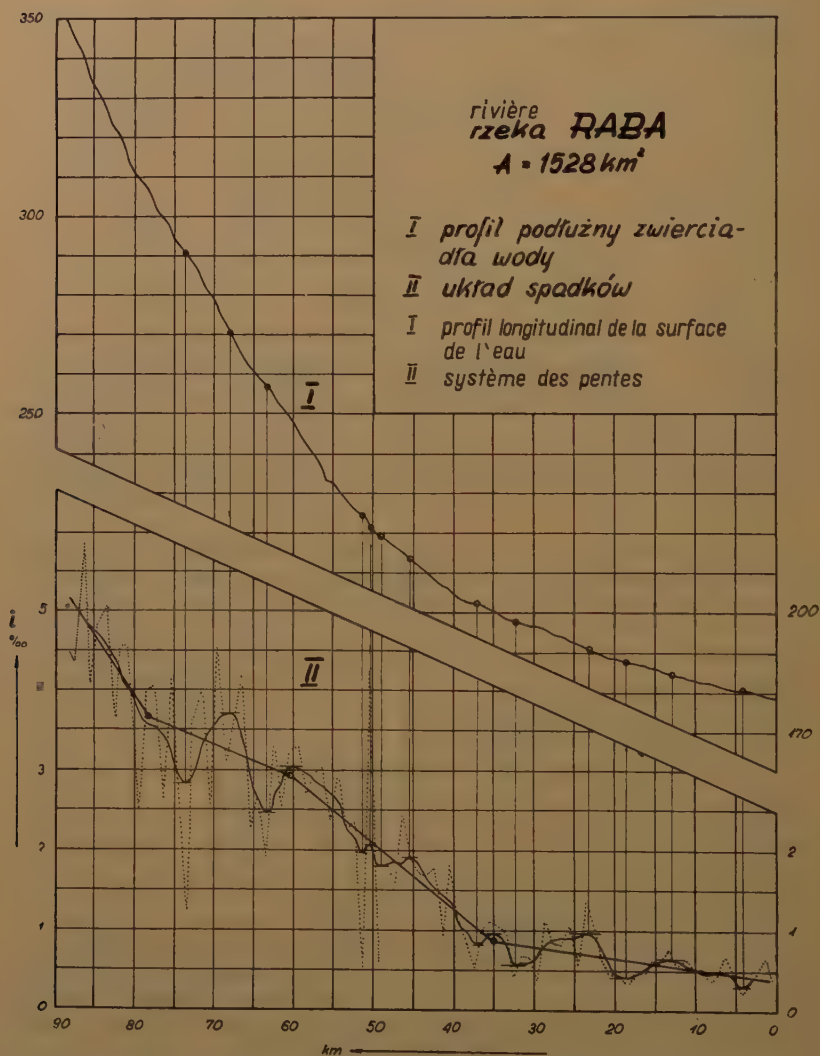


Fig. 4 — Nivellement de la pente longitudinale de la rivière dans un système d'une fonction de dérivée d'une courbe du profil longitudinal de la rivière.

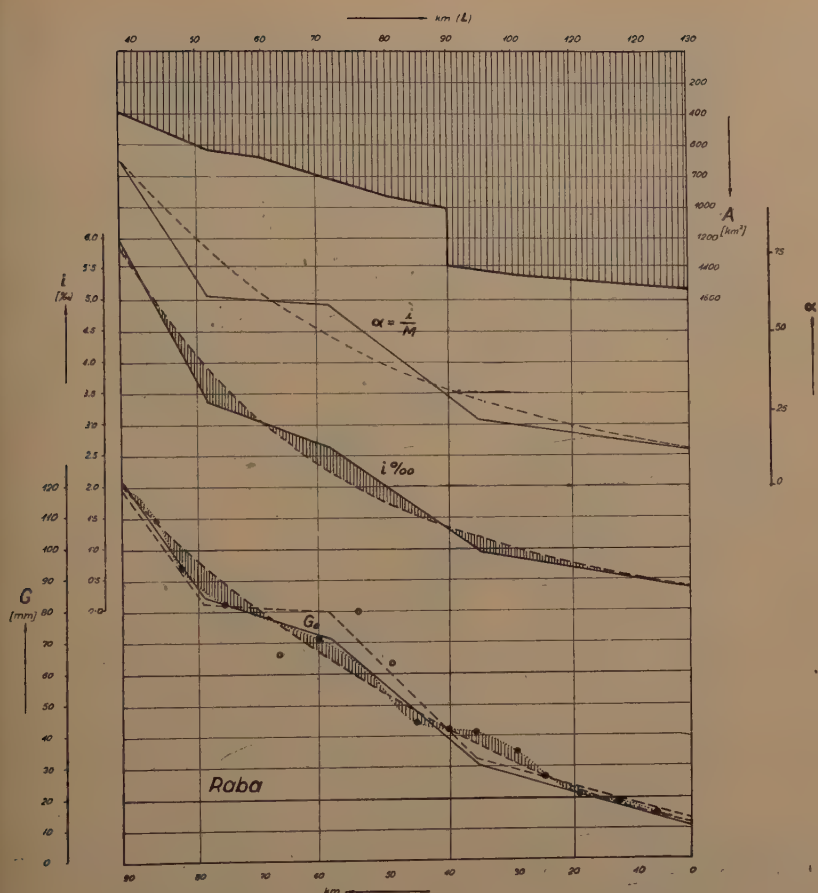


Fig. 5 — Rapport entre la pente et la grosseur de la granulation du gravier dans la rivière Raba.

de la surface située au-dessus de la courbe. Cette ligne  $G_k$  parcourt de l'angle gauche supérieur, d'en haut du carré (100 %) jusqu'à 53 % à son côté droit et remplace la construction de division pour les courbes de tamisage, qui ont généralement un parcours régulier, en désignant spontanément le  $G_0$ .

En voulant procéder à des recherches sur la dépendance entre la grosseur de la granulation du matériel du lit et la pente par tout le long de la rivière, il fallait aussi retrouver une telle forme graphique qui pourrait déterminer uniformément la valeur de la pente en chaque coupe de la rivière, — d'autant plus que la dite dépendance ne peut pas être liée avec la pente locale qui change à chaque plusieurs dizaines de mètres. Ce problème a été résolu de la manière exposée ci-dessous.

En se basant sur le profil longitudinal de la rivière et plus exactement — sur les ordonnées de la surface établie de l'eau, des pentes relatives à chaque kilomètre ont été calculées et ensuite retracées sur un diagramme à part placé sous le profil longitudinal (fig. 4). Le diagramme de cette pentes, représentées comme des points

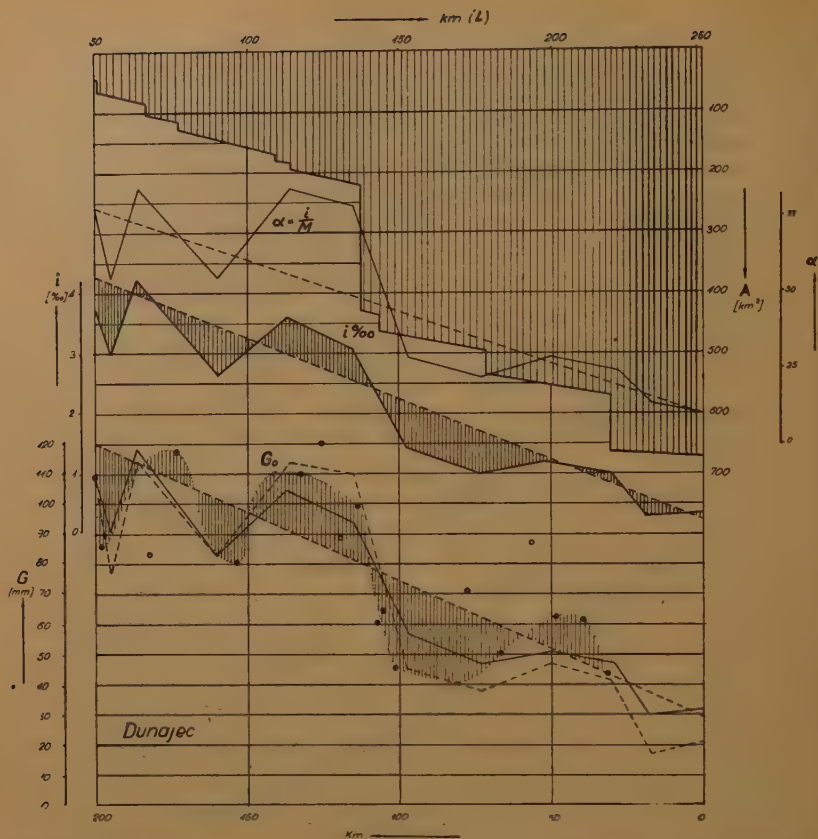


Fig. 6 — Rapport entre la pente et la grosseur de la granulation du gravier dans la rivière Dunajec.

placés au milieu de chaque kilomètre et joints avec une ligne pointillée, est tellement dispersé qu'il n'est pas possible de la niveler sous cette forme. Pour réduire l'amplitude de cette dispersion et pour faire ressortir les lignes générales de la marche des pentes, on se basant sur elles, ont été calculées des moyennes consécutives d'après la formule suivante :

$$i_n = (i_{n-2} + 2 i_{n-1} + 3 i_n + 2 i_{n+1} + i_{n+2}) / 9$$

Les valeurs obtenues ont été jointes sur le diagramme avec une ligne fine ample. Les maxima et les minima de la courbe consécutive sont tracés verticalement à la coupe longitudinale de la surface de l'eau et y désignent les points par lesquels passe une parabole qui égalise la coupe. Evidemment il peut être plus qu'une parabole, si le profil a une configuration plus variée, en raison de quoi ont été construites des directes qui nivellent la courbe consécutive (lignes amples épaisses) et qui représentent l'exemple de la première dérivée des paraboles nivellant la coupe longitudinale de la rivière et dont les points d'intersection équivalent dans le système primitif aux points de tangence des paraboles nivellant le profil longitudinal dans les secteurs particuliers



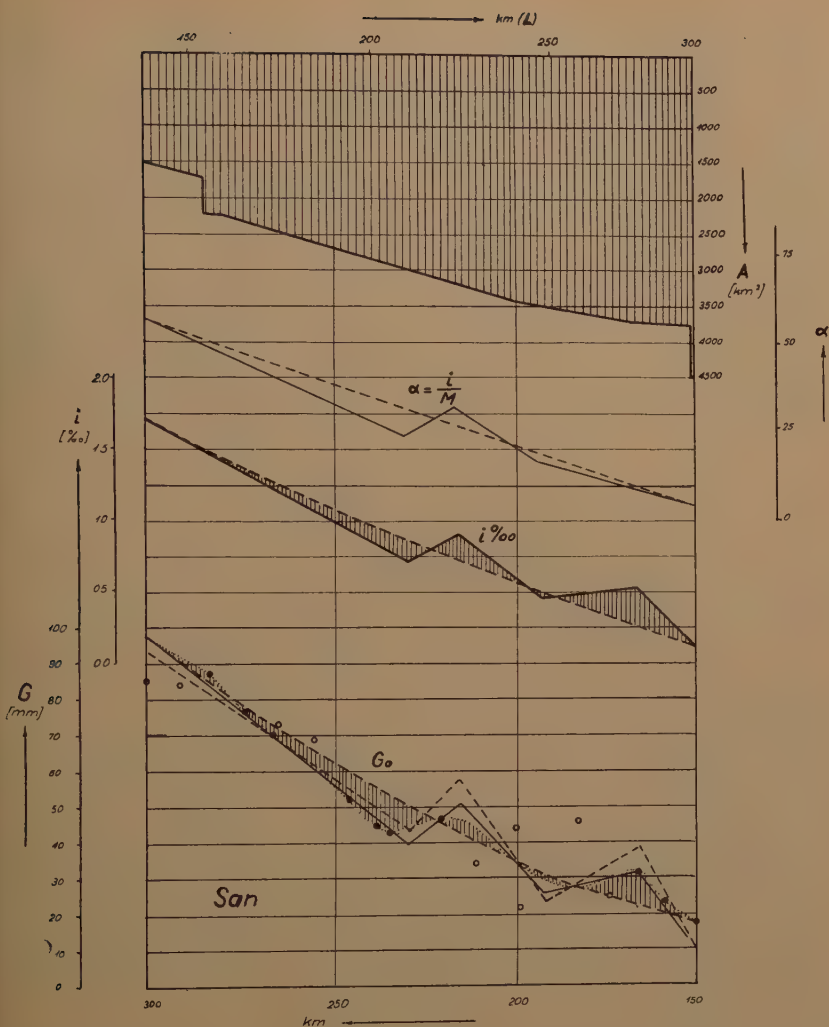


Fig. 7 — Rapport entre la pente et la grosseur de la granulation du gravier dans la rivière San.

de la rivière. Par conséquent les pentes déterminantes, utilisées pour examiner leur rapport à la granulation du lit, sont disposées sur les directes nivelant la courbe consécutive en système II.

En disposant donc d'éléments principaux (en forme convenable) indiqués ici, c.à.d. de  $G_0$  ainsi que de  $i$ , indispensables pour exécuter l'analyse entreprise, des diagrammes ont été construits pour chacune des rivières explorées représentant le cours de chacune, la ligne des pentes nivelées ainsi que les valeurs de  $G_0$  obtenues par voie de tamisage (fig. 5, 6, 7). Ces dernières ne démontrent pas de corrélation distincte avec les pentes, mais représentent au contraire beaucoup de dispersion.

Cette dispersion est due tout d'abord en grande partie aux fautes des mesures granulométriques dont la difficulté principale consiste en un choix juste des endroits de prise d'échantillons qui doivent caractériser toujours la coupe donnée, et puis en une précision certaine du diamètre maximal des grains du mélange donné du gravier, duquel dépend la portée de l'échelle  $G_0$ . En outre les échantillons pris directement au-dessous des affluents accentuent trop fortement leur influence sur la valeur de  $G_0$ . Enfin la forme des grains du gravier qui dépend de sa provenance pétrographique influe de même sur la résistance à la force motrice de l'eau qui dépend directement de la pente. Pour cette raison, en établissant la dépendance fonctionnelle entre  $G$  et  $i$ , il faut admettre d'avance des certaines prémisses préjugant l'existence de cette dépendance. Notre raisonnement se base sur la prémisse que si la pente de la rivière changeait par toute sa longueur d'une manière permanente suivant une ligne droite ou une parabole, la granulation du matériel du lit devrait changer alors d'après les mêmes principes. C'est pourquoi sur tous les trois diagrammes ont été dressées des lignes produisant le nivellement des pentes ainsi que des points dispersés de la granulation. Les rapports entre ces lignes de nivellement ont été présentés sur le coté gauche de la fig. 8 (table 1). Il en résulte que cette dépendance, malgré que provisoire

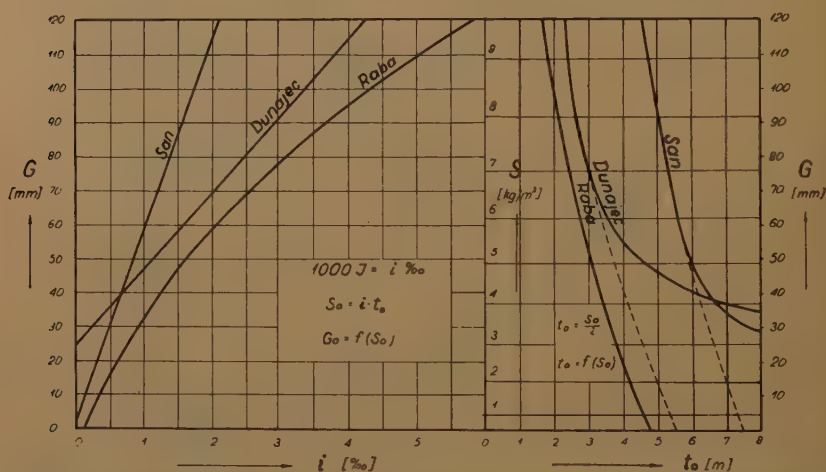


Fig. 8 — La dépendance mutuelle des facteurs  $G_0$ ,  $i$ ,  $t_0$  dans l'application de la fonction  $G_0 = f(S_0)$ .

pour le moment, se présente pour chaque rivière différemment. Par conséquent, si l'on définissait même très minutieusement la dépendance entre  $G_0$  et  $i$  pour une certaine rivière, cette dépendance n'aurait été déterminante que pour ce seul cours ou pour d'autres aussi qui lui ressemblent. C'est clair, car comme cela avait été dit au commencement, les rivières examinées diffèrent entre elles considérablement sous leur aspect physiographique et c'est pourquoi leurs lignes du rapport  $G_0 = f(i)$  démontrent de même des différences considérables. D'autre part elles ont servi au retracement des lignes de la configuration rapprochée de  $G_0$  sur la base des pentes nivelatrices réelles (ligne fine ininterrompue) (le calcul— table 2). Il s'est montré que beaucoup de points de mesures granulométriques, surtout sur les rivières Raba et San, sont situés sur cette ligne ou près d'elle, tandis que sur Dunajec la configuration des valeurs de  $G_0$ , mesurées et puis intermédiées ainsi, a des écarts considérables. Ces déviations apparaissent probablement par la suite d'une structure

TABLE 1

<i>i</i>	R A B A			D U N A J E C			S A N		
	$G_{om}$	S	<i>t</i>	$G_{om}$	$S_0$	<i>t</i>	$G_{om}$	S	<i>t</i>
0,5	15	2,10	4,20	35	3,90	7,80	32	3,64	7,28
1,0	32	3,64	3,64	47	4,90	4,90	58	5,73	5,73
1,5	47	4,90	3,26	58	5,73	3,82	86	7,75	5,10
2,0	59	5,80	2,90	69	6,50	3,25			
2,5	69	6,50	2,60	80	7,25	2,90			
3,0	78	7,18	2,39	91	8,00	2,66			
3,5	87	7,75	2,22	103	8,70	2,49			
4,0	95	8,30	2,08	114	9,50	2,37			
4,5	102	8,60	1,91						
		9,15	1,83						
5,0	109	9,10	1,82						
5,5	116	9,60	1,75						
6,0									

*Les facteurs dynamiques de l'équivalent du fond calculés d'après les valeurs moyennes de  $G_{om}$  et de  $i_m$ .*

péetrographique inégale du bassin, car s'il s'agit de Dunajec, sa partie supérieure qui renferme ses sources se compose de roches explosives dont le gravier est plus dur et est d'une forme plutôt globuleuse, tandis que le reste de ce bassin, ainsi que tous les bassins montagneux des autres rivières carpathiennes, se composent de grès parsemé parfois de calcaire en quantité médiocre. Dans l'ouvrage présent avait été admise l'hypothèse de l'existence du pavement du lit antérieurement au cours en masse du matériel du lit, ce qui est mentionné d'ailleurs tout au commencement. La mécanique de ce cours ainsi comprise nous permet de définir précisément la valeur des facteurs du mouvement au moment de son développement.

Pour vaincre la résistance faite par le lit pavé est nécessaire une tension proportionnée de force d'impulsion qu'on appelle tension limite,

$$S_0 = 1000 I t_0 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

et si nous interposons  $1000 I = i \text{ }^0_{/00} 1$  alors  $S_0 = i t_0$ .

Comme préciseur de la valeur de  $S_0$  pour un mélange de gravier donné est une tension équivalente à l'inertie du  $G_0$  relatif établi d'après la courbe de tamisage. Par conséquent  $S_0 = f/G_0$ . Des mesurages exécutés par l'Office d'Amélioration à Nürnberg\*) ainsi que des données rassemblées par Matakiewicz \*\*) nous permettent d'établir cette dépendance fonctionnelle représentée sous forme graphique (fig. 9). Cette fonction en forme de nomogramme est retracée aussi en fig. 8, ce qui a servi à calculer la valeur  $t_0$  pour chaque rivière explorée selon la relation  $t_0 = S_0/i$ .

(\*) A. SCHÖDLITSCH — der Wasserbau, Berlin 1930.

(\*\*) M. MATAKIEWICZ — Regulacja Rzek, Lwów 1921.

TABLE 2

RABA					DUNAJEC					SAN				
L	i	G <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	t <sub>0</sub>	L	i	G <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	t <sub>0</sub>	L	i	G <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	t <sub>0</sub>
Km					Km					Km				
38					50					142				
92,0	6,00	122	10,20	1,70	200,0	3,75	108	9,00	2,40	298,0	1,70	98	8,40	4,94
51,5					55					211				
78,5	3,35	84	7,50	2,22	195,0	3,00	91	8,00	2,67	229,0	0,70	40	4,35	6,20
71,0					64					225				
59,0	2,65	71	6,60	2,50	186,0	4,25	119	9,90	2,33	215,0	0,90	52	5,35	5,95
95,0					90					248				
35,0	0,95	30	3,50	3,68	160,0	2,65	83	7,40	2,80	192,0	0,45	26	3,09	6,85
					114					274				
0,0	0,40	11	1,70	4,25	136,0	3,60	105	8,80	2,45	166,0	0,53	31	3,60	6,80
					135					290				
					115,0	3,10	94	8,20	2,64	150,0	0,13	7	1,25	9,60
					153									
					97,0	1,45	57	5,65	3,88					
					177									
					73,0	1,00	47	4,90	4,90					
					200									
					50,0	1,20	51	5,25	4,37					
					221									
					29,0	1,00	47	4,90	4,90					
					232									
					18,0	0,30	30	3,50	11,65					
					250									
					0,0	0,35	32	3,64	10,40					

*Les facteurs dynamiques de l'équivalent du fond calculés d'après le parcours réel des pentes.*

Le parcours de la ligne  $t_0 = f(S_0)$  peut être considéré comme normal pour la rivière Raba, tandis que pour Dunajec et San ces courbes s'écartent décidément à droite depuis une certaine valeur de  $t_0$  — ce qui indique un accroissement rapide de la profondeur moyenne simultanément à une diminution de la valeur  $S_0$ .

Cela marque une certaine disproportion entre la grosseur de la granulation et la valeur des pentes sur un certain secteur de la rivière, ce qui, en interprétation morphologique, désigne un terrain d'accumulation. De tels terrains paraissent d'ordinaire dans le cours inférieur, où la rivière, après être entrée dans la vallée de son récipient, diminue subitement sa chute et recouvre la surface du lit d'un matériel relativement plus mince. Mais puisque les échantillons à tamisage sont puisés d'ordinaire jusqu'à la profondeur de 40 cm, où se trouve le matériel plus gros traîné par la rivière seulement dans les périodes de la plus grande crue — par conséquent dans ces conditions la profondeur limite ( $t_0$ ) ressort disproportionnellement considérable.

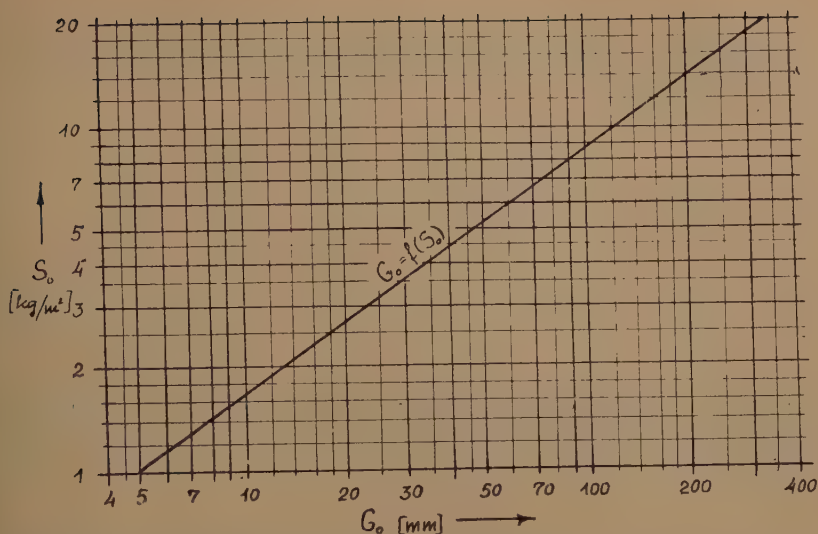


Fig. 9 — Le diagramme représentant la fonction  $G_0 = f(S_0)$ .

Une telle situation paraît sur le Dunajec aux derniers 20 km de son cours, où la pente diminue jusqu'à 0,3 ‰. Mais comme  $G_0$  compte dans ce secteur encore près de 30 mm pour lequel  $S_0 = 3,5 \text{ kg/m}^3$ , par conséquent  $t_0 = \frac{3,5}{0,3} = 11,65 \text{ m/table}$  3 pos. 16). Des relations semblables ont été établies sur le San au km 150 (tab. 3 pos. 23) où  $i$  baisse jusqu'à 0,13 ‰.

\*\*\*

Par la suite des raisonnements présents on peut admettre, qu'il existe une dépendance certaine entre la pente et la granulation du lit, mais elle se présente pour chaque rivière différemment, ce qui démontre l'influence d'encore d'autres facteurs comme:

- 1) longueur de la rivière depuis ses sources jusqu'à la coupe examinée — en rapport à l'abrasion des grains du gravier
- 2) configuration de la partie montagneuse du bassin: a) qui rassemble sur un secteur restreint des affluents amenant le gravier ou bien une telle b) qui ne les obtient qu'à une longueur plus considérable.
- 3) Provenance géologique et configuration du massif montagneux (d'élévation des pentes, largeur de vallées etc.)
- 4) composition pétrographique du gravier traîné
- 5) structure verticale du cours dans sa partie supérieure renfermant les sources (longues pentes ou chutes d'eau comme résolution des différences du niveau)
- 6) configuration ou module du bassin
- 7) forme du lit se caractérisant par le rapport  $B/ts$
- 8) mode de concentration du lit (rivière sauvage, concentrée, réglée)
- 9) degré de configuration du profil longitudinal
- 10) degré de développement du cours de la rivière (rapport de la longueur de la vallée à celle de la rivière etc.)



Après beaucoup d'essais entrepris pour prendre en considération ces facteurs dans l'étude des origines des dimensions dans le procès de la granulation du matériel du lit, a été choisi, comme le mieux le caractérisant, le module du bassin (point 6) c.à.d. le rapport du diamètre d'un cercle à surface égale à celle du bassin — à la longueur de la rivière.

$$M = \frac{d}{L} \text{ où } L \text{ est la longueur de la rivière,}$$

et  $d$  est le diamètre du cercle. Par conséquent

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \text{ d'où } d = 1.13 A^{1/2} \text{ c.à.d.}$$

$$M = \frac{1.13 A^{1/2}}{L}$$

Le facteur  $M$  caractérise à un certain degré les qualités du bassin au-dessus de la coupe examinée, tandis que dans la coupe même agit la tension de la force de trainage  $S = it$ . D'ici a été dressée une formule qui détermine la grosseur de la granulation dans la coupe donnée et qui est basée sur tous les deux facteurs (de la coupe et du bassin) et a un aspect général suivant :  $G_o = \frac{i^m \cdot t^n}{M}$ .

Pour retrouver les valeurs inconnues  $m$  et  $n$ , a été calculée à l'aide du diagramme en (fig. 9), la fonction  $G_o = F(S_o)$  qui a la forme d'une parabole de second degré

$$G_o = 0,46 S_o^2 + 7,93 S_o - 3,5$$

Après avoir admis  $M = 0,5$  (const), de toutes les deux équations sur le  $G_o$  ont été calculés les exposants de puissance  $m = 1$  et  $n = 1/3$  en prenant en égard les valeurs relatives d'après la formule Mayer-Peters. Par conséquent l'équilibre du fond est défini par l'équation suivante :

$$G_o = \frac{it^{1/3}}{M} \text{ ou bien } \frac{G_o}{t^{1/3}} = \frac{Li}{1.13 A^{1/2}}$$

Cette deuxième forme de l'équation divise de son côté gauche les valeurs inconstantes, d'ordinaire recherchées, et à droite — les facteurs pratiquement invariables, qui représentent dans ce système un indicateur physiographique de l'équilibre du fond. Cette équation n'a point certainement de valeur générale et en tout cas n'est pas complètement confirmée, ni sa forme n'est définitive, car elle ne renferme pas beaucoup de facteurs importants mentionnés ci-dessus.

Un précision des limites de son importance et son complètement éventuel aura lieu après l'exploration des autres rivières des Carpathes, ce qui est le programme des travaux de l'Institut d'Hydrologie à l'avenir le plus proche.

Sur les dessins 5, 6 et 7 qui représentent la disposition des pentes ainsi que les lignes  $G_o$  calculées pour toutes les trois rivières d'après la dépendance fonctionnelle de  $S_o$  — ont été retracés (en lignes pointillées) les résultats des calculs d'après la formule citée ci-dessus.

Ces lignes s'écartent en beaucoup d'endroits des lignes amples retracées précédemment, ce qui est la conséquence de ceci, que beaucoup de facteurs influant sur la granulation du fond n'ont pas été pris ici en considération. Egalement en un certain degré on peut l'expliquer par le fait que les valeurs de  $G_o$  ont été calculées dans des coupes des situations de la pente, qui évidemment peuvent ne pas s'accorder avec les points de sinuosité des lignes de la granulation établies en corrélation avec le facteur physiographique.

TABLE 3

Lp.	Km	L km	A	$\sqrt{A}$	$d=1,13\sqrt{A}$	$M=d/L$	$t$	$t^{1/3}$	$i$	$it^{1/3}$	$G_0 = \frac{10it^{1/3}}{M}$		$\pm G$	$\pm \%$
											$G_0 =$	$f(S_0)$		
Rabba	92	38	400	20,0	22,6	0,595	1,70	1,193	6,00	7,16	120	122	— 2	— 1,5
	78	52	620	24,9	28,1	0,540	2,22	1,305	3,35	4,37	81	84	— 3	— 3,6
	59	71	800	28,3	32,0	0,450	2,50	1,359	2,65	3,60	80	71	+ 9	+12,5
	35	95	1410	37,6	42,5	0,447	3,68	1,545	0,90	1,47	33	30	+ 3	+10,0
	0	130	1530	39,2	44,3	0,341	4,25	1,622	0,40	0,65	19	11	+ 8	+17,2
Dunajec	200	50	450	21,2	23,9	0,478	2,40	1,340	3,75	5,03	105	108	— 3	— 2,7
	195	55	700	26,5	29,9	0,545	2,67	1,390	3,00	4,17	77	91	—14	—15,3
	186	64	800	28,3	32,0	0,500	2,33	1,327	4,25	5,64	113	119	— 6	— 5,0
	160	90	1450	32,2	43,1	0,479	2,80	1,410	2,65	3,74	78	83	— 5	— 6,0
	136	114	1830	42,8	48,4	0,425	2,45	1,349	3,60	4,85	114	105	+ 9	+12,0
	115	135	2170	46,6	52,7	0,390	2,64	1,381	3,10	4,28	109	94	+15	+11,6
	97	153	4720	68,7	77,5	0,506	3,88	1,572	1,45	2,28	45	57	—12	—21,0
	73	177	4950	70,6	79,7	0,449	4,90	1,700	1,00	1,70	38	47	— 9	—19,1
	50	200	5530	74,4	84,0	0,420	4,37	1,638	1,120	1,96	47	51	— 4	— 7,9
	29	221	6650	81,6	92,1	0,417	4,90	1,700	1,00	1,70	41	47	— 6	—12,5
	18	232	6670	81,7	92,2	0,397	11,65	2,227	0,30	0,65	17	30	—13	—43,3
	0	250	6700	81,9	42,4	0,370	10,40	2,185	0,35	0,765	21	32	—11	—34,6
San	298	142	1500	38,8	43,8	0,308	4,94	1,705	1,70	2,90	95	98	— 3	— 3,0
	229	211	3000	54,8	61,9	0,294	6,20	1,840	0,70	1,29	44	40	+ 4	+10,0
	215	225	3200	56,6	64,0	0,284	5,95	1,814	0,90	1,63	57	52	+ 5	+ 9,6
	192	248	3500	59,2	66,8	0,270	6,85	1,900	0,45	0,86	32	26	+ 6	+23,0
	166	274	3700	60,9	68,7	0,250	6,80	1,895	0,53	1,00	40	31	+ 9	+29,0
	150	290	4500	67,1	75,8	0,261	9,60	2,125	0,13	0,276	10	7	+ 3	+43,0

Sur les diagrammes mentionnés ont été joints avec des lignes pointillées les points de tamisage démontrant un accord général avec le parcours de toutes les deux lignes citées et les champs qu'elles renferment ont été marqués en raies.

Le degré d'accord du parcours des lignes de la granulation calculées d'après les deux méthodes a été comparé dans les dernières colonnes de la table 3, en se basant sur la valeur prise de la formule  $G_o = f(S_o)$ . La constatation que les écartements sont en deux directions diverses prouve que la formule exige de la mieux préciser et d'y introduire le facteur physiographique. Sous cette forme la formule n'est effective que dans les secteurs de la rivière plus élevés, où tous les affluents amènent le gravier. Les résultats obtenus dans la rivière San le prouvent. Là les écartements ne sont pas considérables (en pourcents ils se présentent beaucoup plus grands), mais presque tous sont dans la même direction. Ainsi cet ouvrage n'est qu'un rapport des recherches exécutées dont seulement les résultats finals peuvent avoir une importance générale.

Quelle valeur pratique peuvent avoir alors les résultats des études menées, si le calcul de l'équilibre du fond d'après la fonction  $G_o = f(S_o)$  formulée en tous ses détails ne représente aucune difficulté.

Une réponse à cette question nous donne la figure 8 en exposant les différences entre les courbes du rapport de  $G_o$  à  $i$  dans les rivières particulières, ce qui s'accroît aussi distinctement dans le parcours des courbes de  $t_o$ . Il s'agit de retrouver la genèse de ces phénomènes qui consiste en caractéristique de la rivière et dans son système physiographique. Dans la coupe examinée de la rivière — ces différences peuvent être établies, mais pas expliquées. Il s'agit donc d'une reconnaissance plus perspicace des procès morphologiques s'exécutant dans une rivière montagneuse pour établir avec une plus grande certitude les conditions de l'équilibre de son fond, ce qui a une valeur décisive dans presque chaque utilisation économique d'une rivière.

La fig. 10 qui est une répétition de la fig. 8, contient les lignes du rapport de  $G_o$  pas à « $i$ » mais  $i/m = \alpha$ .

L'introduction du facteur physiographique fait diminuer la dispersion de ces lignes. Les résultats définitifs de l'étude présente consisteront en une détermination d'une ligne commune du rapport entre toutes les rivières.

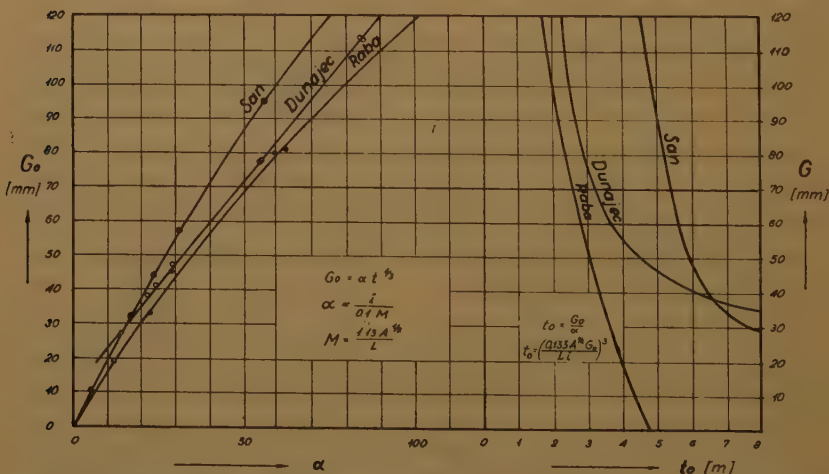


Fig. 10 — La dépendance mutuelle des facteurs  $G_o$ ,  $\alpha$ ,  $t_o$  dans la caractéristique physiographique de la rivière.

# SUSPENDED SEDIMENT REGIMEN ON SOME WATERCOURSES IN YUGOSLAVIA AND ANALYSIS OF EROSION PROCESSES

ING. SLAVOLJUB JOVANOVIĆ

ING. MIODRAG VUKCEVIĆ

*Institute of Hydraulic Engineering Beograd-Yugoslavia*

## RÉSUMÉ

Les auteurs présentent les résultats des observations relatives aux débits des matériaux en suspension de 12 cours d'eau dans les différentes régions de Yougoslavie, (valeurs moyennes annuelles de concentration, érosion par unité de surface du bassin etc.). On donne aussi les données fondamentales sur le caractère des surfaces correspondantes de déversement (topographie, composition géologique, forêts etc.).

La deuxième partie de l'article est consacrée à l'analyse des facteurs fondamentaux agissant sur l'intensité de l'érosion (influence de la forme du profil longitudinal, influence du manteau végétal du sol etc.). On donne surtout l'analyse détaillée des débits d'eau et de matériau quotidien, mensuel moyen et saisonnier moyen. Pour les cours d'eau où il a été possible d'établir la corrélation  $G = F(Q)$  des expressions analytiques ont été développées du type:

$$G = a Q^n \text{ et } k = b Q^m$$

où les signes employés représentent :

$G$  = débits des matériaux en suspension en Kg/sec.

$k$  = Concentration des matériaux en suspension en Kg/m<sup>3</sup>

$Q$  = débit de l'eau en m<sup>3</sup>/sec.

$a, b, n, m$  = constantes.

## I. INTRODUCTION

The work on systematic observation of sediment transport in order to obtain quantitative data on soil erosion is in Yugoslavia, in distinction from other technically developed countries, of the most recent date. At the beginning of May, 1952 daily concentration measurements of the suspended sediment load have started on the rivers Rama and Neretva near the building site of the Jablanica dam, which may be considered as the first organised work in observing sediment transport on a Yugoslav watercourse. These observations as well as similar concentration measurements of suspended load at the building site of Zbornik dam on the river Drina (1953) were expected to give data on the volume of sediment deposits which will be brought into the future storages behind these dams.

Similar measurements have been performed in the following years on the river Drina and other watercourses in order to estimate the silting of future storage basins at some recently designed power stations.

The first works on sediment observation of some river courses, have been stimulated by the construction of new water power plants, which was especially important in the first years after World War II. These observations were made later for the needs of agriculture, industry and torrent regulation as well as soil erosion control in general. Extensive measurements on several rivers were carried out this year too; some of these rivers drain the regions especially exposed to erosion (South Morava). All these measurements are made periodically, during one or two years, not according to a uniform plan for the whole country, but for a determined region and for definite purposes. Some of these works were carried out by different hydro-meteorologic institutions, various designing organisations and scientific institutes whose participation is here gratefully acknowledged.



## II. THE APPLIED METHODS FOR OBSERVING THE SEDIMENT TRANSPORT ON OBSERVED WATERSHEDS

In most cases, two characteristic values were observed: the concentration of the suspended load by sampling and discharge of water by current-meter measurements. Whenever possible, only one sample was taken near the free surface, on the places where turbulence was great enough.

One of the following methods has been used for wider and deeper profiles:

- a) Sediment sampling in the center of stream (usually practised from a bridge)
- b) Sediment sampling on a chosen vertical of the cross section with slow lowering and lifting of the bottle.
- c) Single sediment sampling using a sampler along one or more verticals (Fig. 1 and 2.)

In each of these cases complete measurements of the suspended sediment load were carried out in order to determine precise value of the sediment concentration. The concentrations have been determined by the filtration method, and expressed



Fig. 1 — Measurements of suspended sediment load and water discharge on the river Vardar near Demir Kapija.





Fig. 2 — Measurements of suspended sediment load on the river Drina near Višegrad.

as the weight of the dry substance in unit volume of water (gr/Lit or  $\text{kg/m}^3$ ). The corrections of the filter weight due to the variable moisture content of the air during the measurements of emptied and then used filters, have been done by control filters; one control filter was taken for each ten of «active» ones.

Sediment samples were taken once daily. In periods of abrupt water level oscillations which are combined with excessive suspended sediment concentrations, water sampling was done several times a day. In some places, however, observations were made every one or two hours. Essentially, sediment regime observations were practiced near profiles with existing gauge stations or continuous water level recorders with longer observation period.

The magnitude of suspended sediment discharge ( $\text{Gkg/sec}$ ) in a second was computed from the relation  $G=k Q$ . In some cases results of soundings of storage reservoirs were used additionally in order to determine the mean annual sediment discharge.

No bed-load measurements were performed because of the lack of reliable measuring methods for natural watercourses. In soil erosion calculations, the quantity of bed-load was estimated as a percentage of the total annual amount of suspended sediment discharge. This percentage was taken from 10 to 20%. Excepted are the cases where, by means of available measurements in existing storage reservoirs, the actual quantity of bed-load was determined in a more exact way.

### III. REVIEW OF THE OBTAINED RESULTS ON THE OBSERVED WATERCOURSES

The observations of suspended sediment discharge of twelve rivers in Yugoslavia are interpreted in the present paper. The gauge stations where these observations



Fig. 3 — Surveing map of the main watercourses in Yugoslavia; gaging stations for which data are worked out in this report, are marked from 1-16.

have been performed, are denoted in Figure 3 and in table 1 by numbers from 1-16. By these twelve rivers five areas are drained, placed on the West (the rivers Sava and Savinja), Central (Drina and Neretva), East and South-east (Zapadna and Juzna Morava) and the South part of Yugoslavia (Vardar). By twelve investigated rivers all characteristic types of medium watercourses are represented, except those in areas of pronounced Karst. The corresponding drainage areas are representative in the view of geology, climate, meteorologic factors and soil erosion. Numerical data for the above twelve rivers are given on table 1.

The observations were made on 16 gauge stations in a period from 1952 to the end of 1956. The period of suspended sediment load observation lasted one year for majority of the observed rivers.



Fig. 4 — The map of erosion potential of Yugoslav territory.

Measurements were performed on some other rivers as well, mainly on gully tributaries of the observed rivers, in order to obtain some approximate data of soil erosion in detached regions.

The erosion potential map of the territory of Yugoslavia, represented in Fig. 4, is based on the performed measurements, reduced to a mean wet year; data from other sources are used in addition. For areas without available numerical data the extent of soil erosion was estimated by the analogy with areas of similar characteristics for which such data exist.

#### IV. RELATIONSHIP BETWEEN SUSPENDED SEDIMENT LOAD AND WATER DISCHARGE

The factors which influence the degree of erosion on a watershed and the regimen of the suspended sediment can be divided into two categories: 1) invariable factors, those which do not change very much in a period of several years, and 2) variable factors which depend on meteorologic and climatic conditions of the observed areas.

The first group consists of factors characterizing the soil in all its aspects (configuration, topography of the ground, tectonic and geological composition, vegetation cover, etc)

The parameters subject to variations in a period of one year are the climate of the region and the regimen of precipitations. The hydrologic regimen of the flow is actually a function of the above mentioned parameters.

In the analysis of the sediment regimen either all, or most of the pertinent parameters can be used, or separate relationships between the sediment load and the

River Basin	River	Gaging Station	Period of Record	Drainage Area Km <sup>2</sup>	Mean Annual Discharge	Annual Discharge	in
					Q m <sup>3</sup> /sec	Qm <sup>3</sup> × 10 <sup>3</sup>	M Annual Discharge Q m <sup>3</sup>
Gomja Sava	Sava	1 Sv. Jakob	1.1.1955 1.1.1956	2.298	84,4	2.336 077	
		2 Radece	1.1.1954 1.1.1955 1.1.1956	7.299	262,0	7.138 368	2
					262,0	7.253 280	2
	Savinja	3 Vel. Sirje	1.1.1955 1.1.1956	1.844	48,4	1.359 201	
Neretva	Rama	4 Slatina	1.9.1952 1.9.1953	920	37,0	1.450 000	
	Neretva	5 Preklade	1.9.1952 1.9.1953	2.040	76,0	3.342 000	1
		6 Zitomislici	1.10.1954 1.10.1955	4.180	221,0	7.715 534	2
Drina	Lim	7 Zaton	1.6.1955 1.6.1956	1.677	41,0	2.514 000	
	Drina	8 Visegrad	1.10.1954 1.10.1955	13.310	307,0	11.291 400	3
		9 Zvornik	1.8.1953 1.8.1954	17.432	381,0	7.603 200	2
Vel. Morava	Ibar	10 Ribarici	1.2.1955 1.2.1956	700,8	12,34	994 000	
	Z. Morava	11 Gug. Most	1.10.1955 1.10.1956	2.688	35,0	1.823 000	
	J. Morava	12 Vlad. Han	1.2.1956 1.2.1957	3.244	25,0	743 094	
	Toplica	13 Korv. Grad	1.2.1956 1.2.1957	9.296	64,5	3.445 264	1
		14 Doljevac	1.2.1956 1.2.1957	2.052	13,0	657 591	
Vardar	Treska	15 Matka	1951 1954	1.850	24,0	755,000	
	Vardar	16 Dem. Kapija	1.11.1955 1.11.1956	21.248	150,0	7.288 334	2

Sediment load								
In period of record								
Runoff	Annual Discharge	Mean Annual Discharge	G max	Mean Annual Conc.	K max	K max K mean	Suspended load	Suspended and bed load
× m³/km²/YR	G tons	Gkg/sec	kg/sec	K kg/m³	kg/m³		t/km²/yr	t/km²/yr
1015,0	110.472	3,5	115,0	0,047	2,79	59,3	48,0	55,2
978,7	951 376	30,2	3830	0,134	2,83	21,1	130,3	150,0
995,0	893 498	28,3	965,0	0,123			122,1	140,4
737,0	216 568	6.87	266,0	0,160	1,45	9,1	117,5	135,1
1576,0	248 400	7,9	150,0	0,172	1,25	7,3	270,0	310,5
1640,0	2.560 000	81,3	27 350,0	0,768	27,0	35,0	1250,0	1375,0
1845,0	315 421	10,0	114,0	0,041	0,192	4,7	258,0	296,7
1500,0	956 000	30,4	1 926,0	0,380	39,2	103,0	570,0	627,0
846,0	3.132 380	100,0	3 832,0	0,278	4,0	14,4	235,0	257,5
436,0	2.090 000	66,3	1800,0	0,275	3,9	14,0	120,0	135,0
1420,0	426,000	13,47	1870,0	0,43	5,16	12,0	610,0	701,4
678,0	827 000	26,24	1 717,6	0,453	20,2	44,6	308,0	385,0
230,0	1.195 710	37,90	1 231,0	1,61	69,85	43,5	370,0	444,0
372,0	7.073 540	224,0	6169,0	2,053	62,3	30,4	762,0	914,0
320,0	1.352 872	42,9	1 650,0	2,06	32,9	16,0	661,0	727,0
408,0	429 000	13,65		0,57	7,53	13,2	232,0	258,0*
342,0	8.602 552	274,0	6 775,0	1,18	10,0	8,5	406,0	447,0

ending of storage.



different parameters can be established. If such an analyses is carried out for a determined river section, it is possible to eliminate the parameters which are practically invariable for the corresponding region (topography, geological composition) or which do not change for a long period (vegetation cover, way of cultivation).

The variable factors which influence the sediment transport are manifested on a gauging station, as it is known, in form of oscillations of the flow. It means, therefore, that there must be a certain relationship between water discharge and sediment load.

The analysis of relationship between sediment discharge and the hydrologic qualities of the flow is particularly interesting. First of all for the greatest number of watercourses, data for observations of the water regimen for a series of years are available, which makes possible to study well their hydrologic characteristics. Remarkably less is the number of years for observations of the sediment load. As favourable correlations between water and sediment load are established (for the period in which sediment load observations are performed) it is possible to determine later the value of the average sediment transport for the given watercourse, utilizing data of long period observations of the water discharge. On the other hand, if the given watercourse drains at the gauging station a region of relatively small area, the corresponding watershed can be considered as enough homogenic from the point of view of the configuration, soil composition, climate and meteorologic conditions. The constants of analytical functions will content in this case the above mentioned factors characterizing the given region.

In order to obtain a relationship between the flow of water and suspended load in most cases the following relationships are convenient:

a) Relationship between water discharge and sediment load; usually the relationship between water discharge per second and sediment discharge in tons/day is taken.

b) Relationship between average monthly water discharge and sediment load; as far as the observations data are available for a period of several years, average monthly values can be taken for a longer period; the relationship between mean seasonal water discharge and sediment load can be also established.

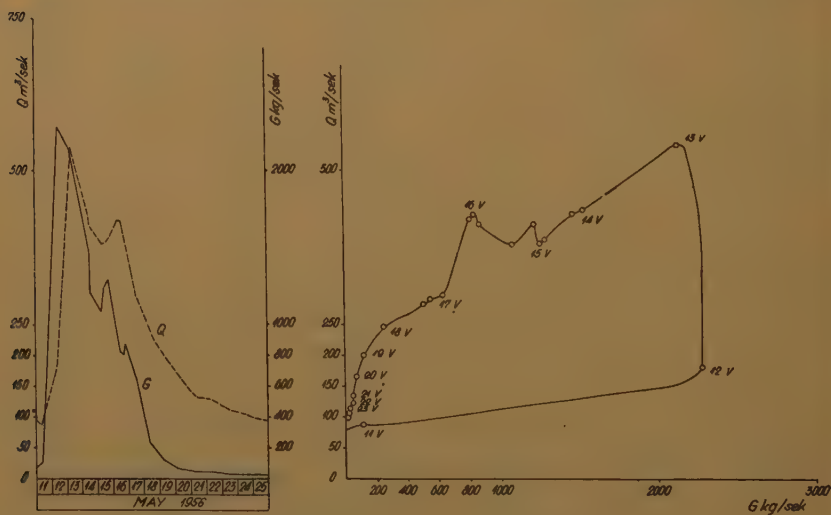


Fig. 5 — Correlation  $G = f(Q)$  for one flood.

c) Relationship between mean annual water discharge and sediment load can be also used.

It is established by numerous analyses that better relations are obtained if mean values are used for a longer period. The best relation for mean annual values of water discharge and sediment load can be obtained, for instance, while for monthly or mean decade values this regularity is less expressed (in most of cases they are parabols of the  $n$ -degree); the worst relation can be obtained for daily values of water discharge and sediment load.

Fig. 5 and 9 illustrate the above mentioned relationships for the river Jizna Morava near Korvin Grad.

a) The correlation  $G = f(Q)$  shown in Fig. 5 illustrates the relationship between the water discharge and sediment load during one flood. Concentrations increase rapidly and maximum concentration of suspended sediment load precedes the top of the flood wave; later on, concentrations decrease faster than water discharge so that the relationship  $G/Q$  is variable in time. Concentrations of suspended sediment load are not constant either for the same water discharge or in various seasons of the year. Due to these circumstances, values of sediment discharge for the same water discharge may vary in very great limits. Therefore, such a simple analyse as that one shown in Fig. 5, cannot represent the way to find out the regularity between water discharge and suspended load.

In order to find out the relation between water discharge and sediment load it is necessary to analyse the origin and the type of the observed water run off. The run off of the snow melt is characterized by less concentrations than that of the rains. The run off, originating from the torrential rains especially in the summer time, is characterized by high concentration values. It is necessary then to separate various types of the run off between above mentioned extreme types; this can be done by parallel analysis of the hydrograph and the precipitation data.

Having in view mentioned circumstances, values  $G$  ton/day are illustrated in Fig. 6 and 7 in the function of water discharge per second, for the whole year, separately for the increase and separately for the decrease of water level; every month has been marked with a different symbol. Taking into consideration a season of the year and origin of the run off, the corresponding curves of correlation have been incorporated.

As it can be seen, the dots corresponding to some season, are grouped fairly good. It is evident that all values corresponding to the summer months are completely separated from spring and winter months. The transitive period is in principle weakly defined.

Correlations of this type, together with the diagrams  $G = f(t)$  and  $Q = f(t)$  may be used for analysing the sediment regimen of the observed watercourse. They can be practically used, as well, for the determination of daily sediment discharge on the basis of available data for water discharge. The curves  $G = f(Q)$  obtained by the observation of sediment regimen in a shorter period can be used also for the sediment discharge determination in one average year; this is obtained by means of seasonal duration curves of water discharge which, as average curves result from long period observations of the given water course <sup>1</sup>.

b) The relationship between average monthly water discharge and the suspended load is analysed in Fig. 8; the relationship  $k = f(Q)$  is given on the same diagram. As it can be seen, it was possible in the given case to drive the curves of correlations  $G = f(Q)$  and  $k = f(Q)$ . Taking care of the nature of these phenomena some months are grouped in seasons and the values are computed for mean seasonal

(<sup>1</sup>) Carl K. MILLER : Analysis of flow-duration, sediment-rating Curve Method of computing sediment yield; U. S. Bureau of Reclamation, April 1951.

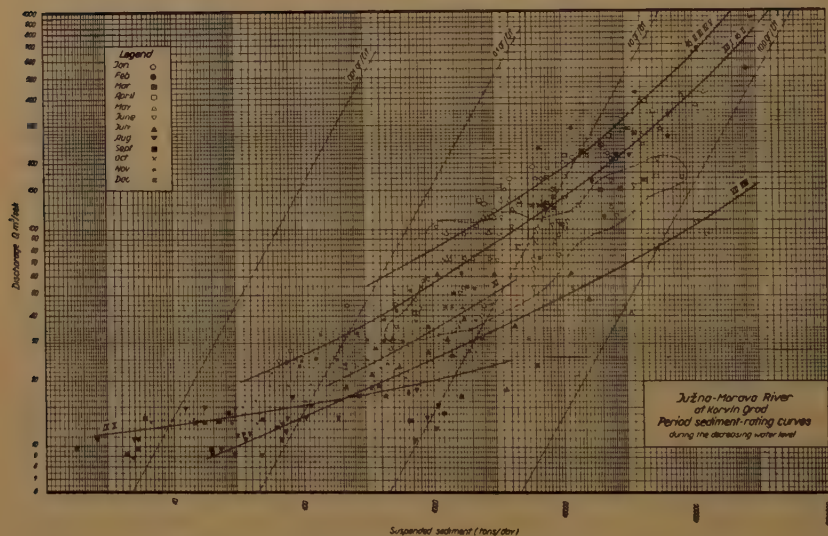
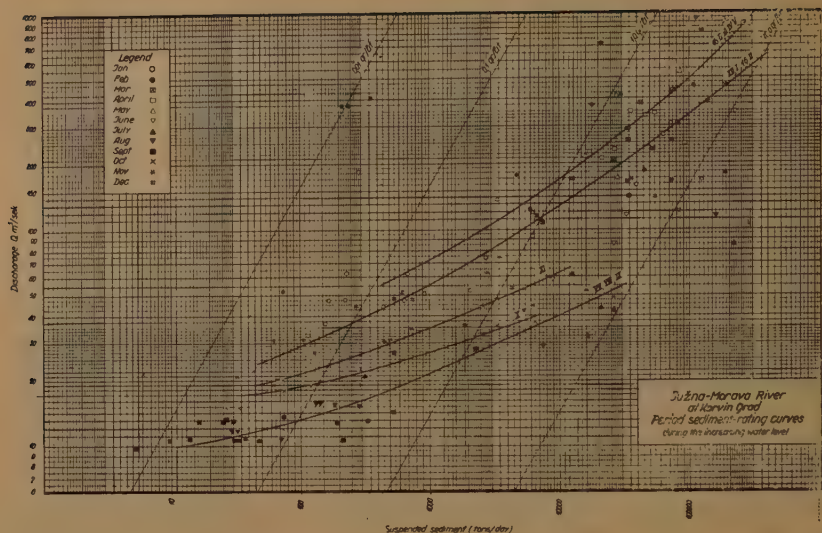


Fig. 6 and 7 — Period sediment-rating curves; daily values for  $G$  and  $Q$  for the whole year observation are plotted on the diagram.

water discharge and sediment load. The corresponding dots (II, III and IV) put in the diagram if Fig. 8 follow the relation curve very good.

In order to estimate the separate values of sediment discharge  $G$  kg/sec on the basis of known water discharge per second, the relation curve if Fig. 8 cannot be, evidently, used except for an orientation estimation. This curve, particularly if made on the basis of average monthly values for a long period observations can

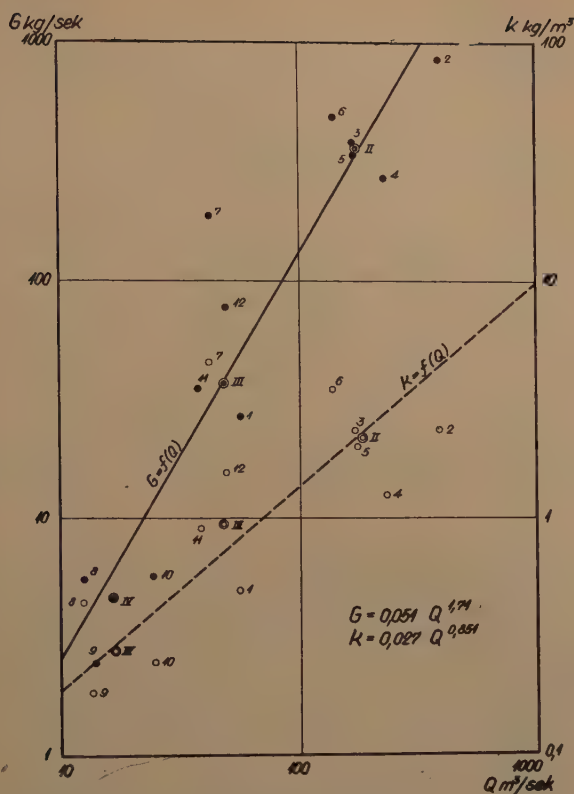


Fig. 8 — Correlation of average monthly values of water discharge suspended load and suspended sediment concentrations.

be applied for the determination of summary sediment discharge for a longer period (one year).

c) There was no available data to find out the relation between the mean annual water discharge and sediment load. In order to establish whether it is possible to use the relation  $G = f(Q)$  from Fig. 8 for this purpose, the average month values of water discharge are computed for several characteristic years and by means of them, with the relation curves, the corresponding values for sediment discharge are obtained. The average annual values of sediment discharge and water discharge obtained as arithmetical midst of monthly values gave a straight line relation (Fig. 9). By means of such obtained relation it could be possible to determine approximately, according to the available values for average water discharge, the average sediment discharge per second for each year. Meanwhile, as the correctness of this process is not examined it should be taken into consideration with reserve. In any case, the analysis of the relationship between the mean annual water and sediment discharge performed according to the observations of many years in other countries, indicates that this relationship is really in the most of cases linear.

In principle the dependence  $G_{\text{year}} = f(Q_{\text{year}})$  can be used for the determination of the average sediment discharge according to the average water discharge



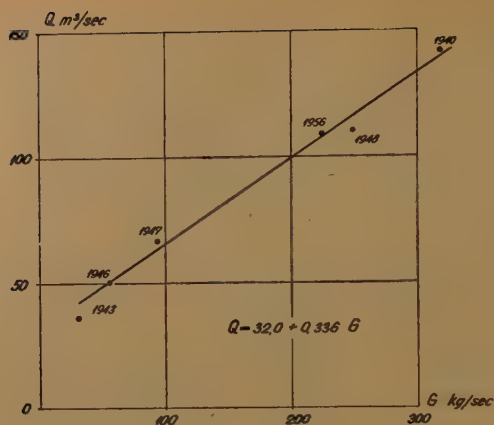


Fig. 9 — The relation between the average annual values of water discharge and suspended load; the values for  $G_{\text{year}}$  are obtained by the sediment-rating curve in Fig. 8.

for a long period. Meanwhile, in order to obtain the reliable relation  $G_{\text{year}} = f(Q_{\text{year}})$  it is necessary to have the data of at least ten years sediment observations; this is the case of relatively small number of flows even in the countries where the service of sediment observations has a great tradition. Because of that, hydrologists use some other methods for the estimation of reliable average values for sediment discharge utilizing the available data of sediment observation for a shorter period.

For majority of the rivers on which the observation of sediment regimen was carried out, an analysis of dependence between the mean monthly water discharge and suspended load was accomplished. It was found that for basins of relatively large areas, whose particular parts have no essential variations in their characteristics, very good dependence can be established. For watersheds with expressive torrential

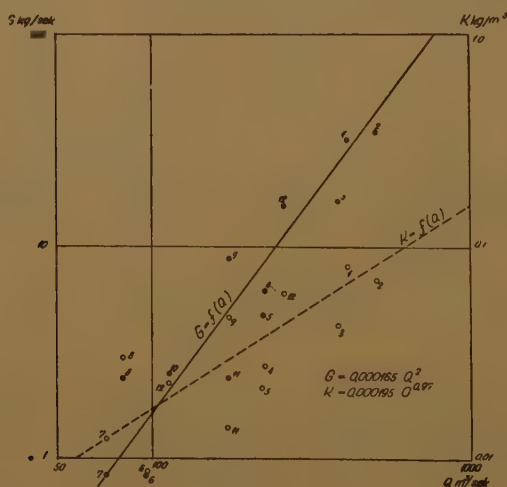


Fig. 10



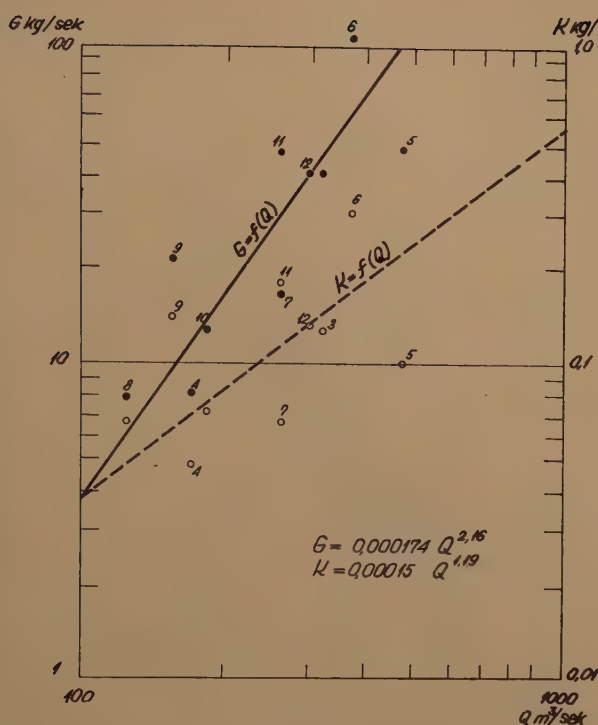


Fig. 11

regions, specially if the climatic and topographic factors cause various distribution and intensity of precipitation in particular parts of the watershed, the correlative connection is weakly expressed.

In some cases no correlation could be obtained at all, especially if upstream from the observed profile one or more confluent flow into the main river, changing thereby, suspended load regime of the main river. At some rivers the obtained points show a tendency of grouping about.

In Figures 10 to 13 the correlations  $G = f(Q)$  and  $k = f(Q)$  for several characteristic rivers are shown. As for the deviation of the points, some difference is found at the rivers with watersheds in various climatic conditions.

For the analytical expression of the obtained correlation lines, the following types of equations are used:

$$G = aQ \quad \text{and} \quad k = bQ^m$$

where

$G$  — suspended sediment discharge in kg/sec

$k$  — the concentration of suspended load in kg/m³ or gr/lit

$Q$  — water discharge in m³/sec

$a, b, n$  and  $m$  — numerical constants.

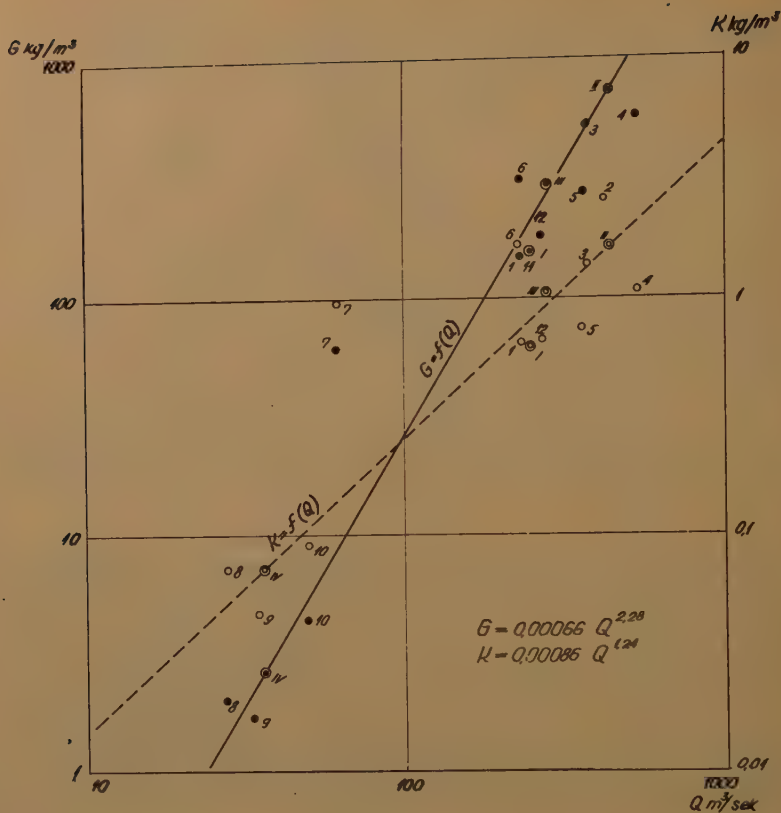


Fig. 12 — Correlations  $G_{\text{month}} = f(Q_{\text{month}})$  and  $k_{\text{month}} = f(Q_{\text{month}})$  for the river Neretva near Zitomislici (fig. 10), the river Sava near Radece (fig. 11), the river Vardar near Demir Kapija (fig. 12) and Toplica river near Doljevac (fig. 13).

The magnitudes of these numerical constants are computed for 10 rivers and given in table 2. The following approximate relations between these constants are obtained:

$$a \approx b \text{ and } n \approx m + 1$$

Being inspired with the results obtained in an article by L. Leopold and T. Maddock<sup>1</sup> about the dependence which can be established for various hydraulic magnitudes of one river (depth, width, velocity) in function of water discharge, the following analysis of the relationship among the constants  $a, b, n$  and  $m$  was accomplished.

(<sup>1</sup>) LUNA B. LEOPOLD and THOMAS MADDOCK: The Hydraulic Geometry of Stream Channels and some Physiographic Implications; Geogr. Univ. prof. paper 252, Washington, 1953.

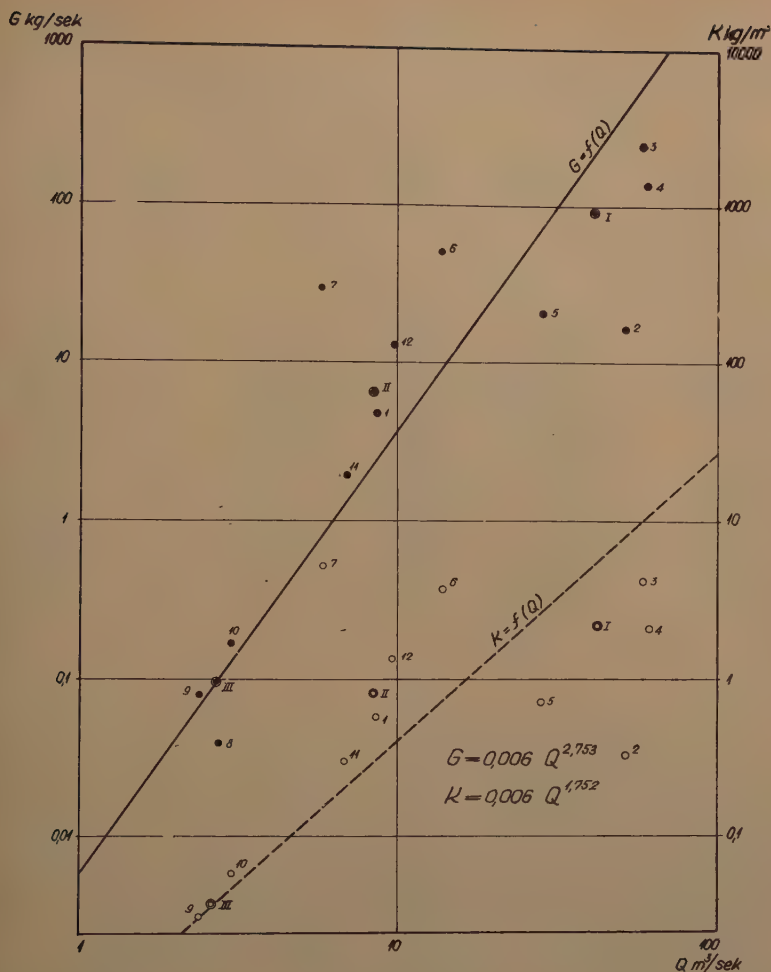


Fig. 13

Suspended sediment discharge is equal to the product of water discharge in a second ( $Q \text{ m}^3/\text{sec}$ ) and of suspended load concentration in water ( $k \text{ kg}/\text{m}^3$ )

$$G = kQ \text{ whence } Q = G/k$$

As between sediment discharge or concentration and water discharge the following relationship exists:

$$G = aQ^n \quad \text{and} \quad k = bQ^m$$

so it will be :  $Q = \frac{G}{K} = \frac{aQ^n}{bQ^m}$

TABLE 2

N <sup>o</sup>	River	Gaging station	Numerical constants of functions				
			for suspended sediment load in kg/s		for concentrations in kg/m <sup>3</sup>		G = aQ <sup>2.25</sup>
			G = aQ <sup>n</sup>		K = bQ <sup>m</sup>		
			a	n	b	m	
1	Toplica	Doljevac	0,006	2,753	0,006	1,752	0,0286
2	Juz. Morava	Korvin Grad	0.037	1,83	0,0394	0,804	0,0076
3	Juz. Morava	Korvin Grad	0,051	1.71	0,027	0,851	0,0056
4	Ibar	Ribaric	0,000216	3,09	0,000201	2,12	0,00295
5	Vardar	Dem Kapija	0,00066	2,28	0,00086	1,24	0,00066
6	Lim	Zaton	0,000023	2,94	0,000018	1,87	0,00047
7	Sava	Sv. Jakob	0,000147	2,345	0,00012	1,34	0,000193
8	Drina	Zvornik	0,000555	2,0	0,00052	1,08	0,000153
9	Sava	Radece	0,000174	2,16	0,00015	1,19	0,00012
10	Neretva	Zitomislici	0,000165	2,0	0,000195	0,97	0,000045

or

$$Q = \frac{a}{b} Q^{n-m}; \quad \text{It must be: } a = b \text{ and } 1 = n - m$$

As it can be seen in table 2, the magnitudes for  $n$  vary in the limits of 1,7 to 3,0. The inclination of the correlation line in the system  $\log Q - \log G$  depends on the exponent  $n$ . The magnitude of the exponent  $n$  is always greater than one, which shows that the magnitudes for sediment discharge increase faster than the magnitude of water discharge. In other words, suspended sediment concentration is quickly increasing with the increase of the discharge. If suspended sediment concentration would be always the same, the relation  $G = f(Q)$  would be linear.

The correlation lines  $G = f(Q)$  of all investigated rivers are represented in the same diagram in Fig. 14. It is apparent that position of the correlation line varies in broad limits depending on the sediment regimen. On the contrary, the differences in the inclination of the lines are less expressed. With respect to this fact the mean value of the exponent in equation  $G = aQ^n$  is computed and  $n = 2,25$  is obtained. For all cases the corresponding magnitudes of the constant  $a$  are then calculated (Table 2).

By this way the modified correlation curves of the observed rivers are obtained and represented by parallel lines in the system  $\log G - \log Q$  (Fig. 15). The position of these lines in the coordinate system is determined by the magnitude of the constant  $a$ .

The described way can be used very well for the analysing and comparison of various flows sediment regimen. The rivers, corresponding to the correlation lines on the right side of the diagram are least loaded with sediment; sediment load increases towards the left side; the mean annual concentrations increase as well. By analogy, the position of the correlation lines in Fig. 15 or the value of the coefficient  $a$  in the equation  $G = aQ^n$ , gives an idea of the erosion intensity of the drainage areas on the observed rivers.

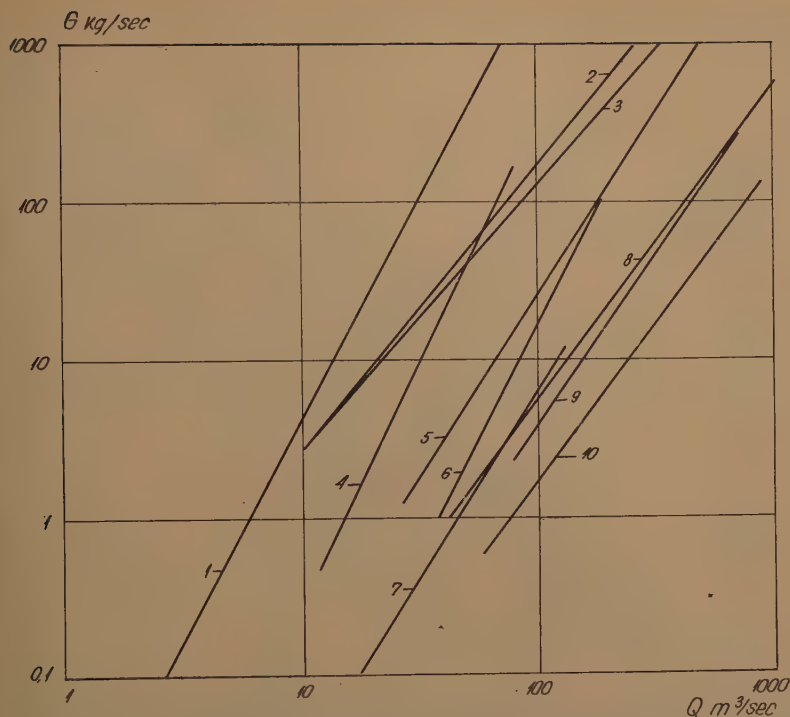


Fig. 14 — Sediment-rating curves  $G_{mouth} = f(Q_{mouth})$  for the flows: 1 — Toplica, 2 and 3 — Juzna Morava, 4 — Ibar, 5 — Vardar, 6 — Lim, 7 — Sava, 8 — Drina, 9 — Sava and 10 — Neretva.

As it has been mentioned above, the sediment observations for a longer period were not performed on any watercourse in Yugoslavia. Due to the lack of these data, the analysis of the annual values of water discharge and sediment load has been made for all gauging stations elaborated in this report. For an easier comprehension of the order of magnitudes, the annual values of water discharge and sediment load has been expressed as the soil erosion ( $t/km^2/year$ ) in function of the run off from the watershed ( $m^3/km^2/year$ ) instead of the dependence  $G = f(Q)$  as in the above case. Values corresponding to the gauging stations of the same river or watershed are marked with same symbols (Fig. 16). Linear correlations are obtained for certain regions as it was expected when annual values are in question. In order to find out the analytical expression of the obtained lines, the general equations may be used :

$$g = tg \alpha (q_0 + q)$$

where

$g$  = soil erosion in  $kg/km^2/year$

$q$  = water run off from the watershed in  $m^3/km^2/year$

$q_0$  = fictive water run off for  $g = 0$

$\alpha$  = inclination angle of the correlation line and the axis  $q$

If  $q_0 = 0$  is taken for the qualitative analysis, the magnitude for  $tg \alpha = c$  in the above equation will represent the approximate mean annual concentration of



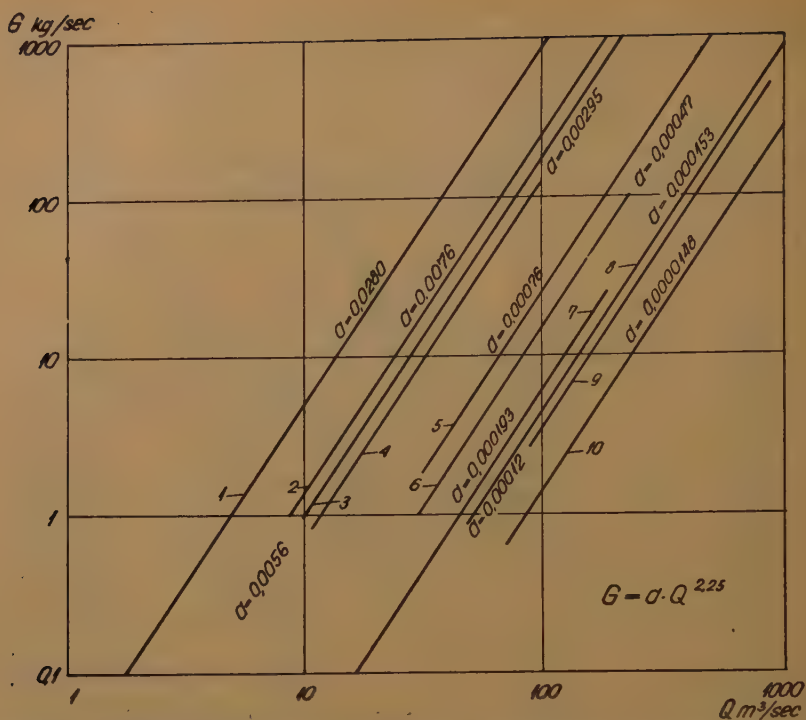


Fig. 15 — Sediment-rating curves from figure 14, deduced to a common exponent ( $n = 2,25$ ).

suspended load of the corresponding watercourses. The following values are obtained in this way: for the line

- 1 —  $c =$  about 2,10 kg/m<sup>3</sup>
- 2 —  $c =$  about 1,30 kg/m<sup>3</sup>
- 3 —  $c =$  about 0,680 kg/m<sup>3</sup>
- 4 —  $c =$  about 0,480 kg/m<sup>3</sup>
- 5 —  $c =$  about 0,370 kg/m<sup>3</sup>
- 6 —  $c =$  about 0,1 kg/m<sup>3</sup>

If these figures are compared with magnitudes of mean annual concentrations for corresponding watercourses in table 1, it could be seen that a very good concordance is obtained.

The analysis of Fig. 16 indicates that the soil erosion is not only the consequence of soil unresistance to water erodibility; it is a function of water discharge as well. The more intensive soil erosion corresponds to the greater intensity of precipitation. Unequal distribution and intensity of precipitation are very important here.

Regardless to annual quantity of precipitation, the soil erosion represents a soil degradation. In order to control this degradation values of effective soil erosion have to be taken into consideration. Meanwhile, these values are not the only measure to estimate the state of determined ground; the inclination of the correlation lines in Fig. 16, i.e. the mean annual concentrations of the observed rivers is the more reliable indicator of the imperil degree of the eroded region.

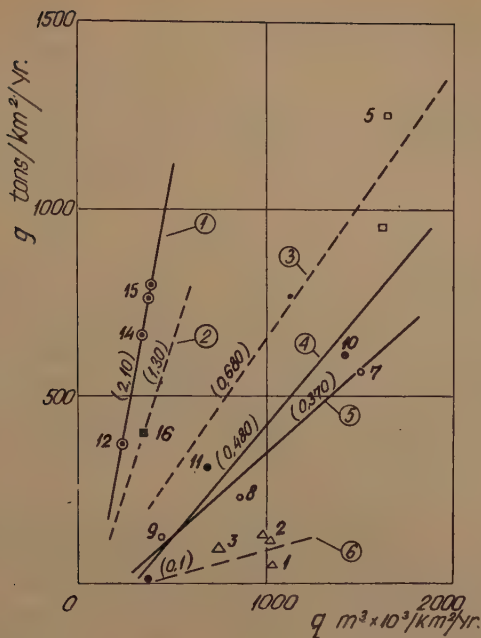


Fig. 16 — The soil erosion as function of water run-off:

- 1 — the river J. Morava watershed
- 2 — the river Vardar watershed
- 3 — the river Upper Neretva watershed
- 4 — the river Zapadna Morava watershed
- 5 — the river Drina watershed
- 6 — the river Upper Sava watershed

#### V. NUMERICAL VALUE OF THE EROSION COEFFICIENT AS INTEGRAL CHARACTERISTIC OF THE OBSERVED WATERSHEDS

As it has been already mentioned, the factors characterizing the soil (configuration, structure, geologic composition and the vegetation cover) can be considered as practically non variable or variable during a period of several years; all these factors, besides the intensity of precipitations, have a decisive influence on the sediment regimen of the watercourse, or better to say, the intensity of soil erosion from the corresponding drainage area. These factors can be embraced by a certain parameter which will contain, in the given case, integrally the characteristics of the observed watershed. It can be accepted that this parameter is the constant  $a$  from the equation  $G = aQ^n$  where a common exponent  $n$  has been derivated for a series of watercourses. This method gives the opportunity of comparing the characteristics of various drainage areas and their classification as the numerical value of constant  $a$  or, as we named it, the erosion coefficient can be computed for every watercourse according to the results of the observed sediment discharge.

The dependence in Fig. 16 characterizes the corresponding drainage areas also, but in a somewhat different way. Points corresponding to watercourses whose watersheds have similar characteristics will be grouped well about determined correlation line; these flows do not belong always to the watershed of the same river.

For such correlations, the inclination line in relation to the  $q$  axis (parameter  $c$ ) could be considered as characteristic parameter.

From numerous factors influencing the erosion degree of corresponding areas it was not possible to separate the dominant ones, due to the lack of necessary elements. As to the numerical values of the coefficients of erosion the only possibility is to describe characteristic features of certain watersheds. This analysis is to be done in the same order in which points about 6 correlation lines are grouped in Fig. 16.

1. *A watershed of the river Juzna Morava.* Line 1 indicates three gauging stations of the South Morava river and one station of the Toplica river;  $c = 2,1$ .

The river Toplica watershed is mostly composed of crystalline shists of which some series are cracked and decomposed. A little bit more rich in wood is the west part of the watershed, bordered with high mountains (over 2000 m). Southern, slope grounds of the watershed are rather bared. The region is under the influence of continental climate (great quantity of precipitations in October). The quantity of annual precipitation amounts to 550 to 800 mm. Although there are expressive torrential areas, the whole watershed is exposed to an intensive erosion; the erosion coefficient amounts to  $a = 0,0280$  (Fig. 15).

The greatest part of the river Juzna Morava watershed is composed of crystalline shists, tectonically non comfortable, and twisted strata. Numerous ditches and gullies are made under the influence of the precipitation. Only in the most perilled region of Grdelica gorge, the steepness of the ground of 30-40% embraces more than a half of this part of the watershed, the other parts represent the grounds with greatest steepness. Under the influence of the mechanical action of water, a rapid decomposition of the shists take place so that this material is easily eroded always exposing new strata. The watershed is under the influence of a continental climate; the winters are cold and windy, summers are hot and sweltering. Short showers of great intensity are characteristic for this region. The annual quantities of precipitation amounts to 600-800 mm. The afforestation of the watershed is minimal. The erosion is partly expressed in its most drastic forms and leads not only to a complete degradation of the soil but to an imperilling of the flat, downstream valleys. The erosion coefficient for two gauging stations of this river is  $a = 0,0076$  and  $0,0056$ .

2. *The river Vardar watershed* line 2 in Fig. 16 is approximate, the observation data comes from one gauging station on the river Vardar only;  $c = 1,30$ .

This watershed has a mountainous character with steep river valleys and terraces. From the point of view of geological composition, various formations can be found mostly crystalline shists unresistable to the influence of the precipitation. The afforestation of the watershed is minimal, the woods are of the recent date with the exception of certain regions as the watershed of the river Treska. The south part of the watershed is under the influence of the mediterranean climate while the north part is influenced by the continental one. The quantity of precipitation amounts to 500-700 mm. The quantity of annual precipitation amounts up to 1400 mm. The value of the erosion coefficient is  $a = 0,00076$  for the whole watershed.

3. *The river Gornja Neretva watershed* (line three) represents two rivers; Neretva and Rama;  $c = 0,620$ .

The river Rama, its greatest percent of water coming from the Karst wells, drains, in the area of its upper flow, grounds composed of limestones of Middle and Lower Trias. Volcanic rocks sandstones and werfen slate can be found in the region of the lower flow. The ground is mostly steep, the river has an average fall of more than 11%. The watershed is mostly without the vegetative cover.

A watershed of the river Neretva is surrounded with high mountains, composed of the limestones and dolomite (40%) sandstones, conglomerates and shale (30%) volcanic rocks and werfen watertight slates.

The lower part of the watershed is composed of the limestones rich in karstic forms. Mountain sides are very steep especially in the upper flow. The hills in the upper part of the watershed are covered with rare, low woods.

The warm mediterranean climate penetrates from the sea along the Neretva valley and the continental climate above. The average quantity of precipitation is about 1500 mm per year. The quantity of precipitation in the north, mountainous parts of the watershed amounts up to 2000 mm per year. It decreases towards the south of the watershed.

As the upper part of the watershed is very steep the torrents fall very often from a height greater than 1000 m. The most intensive erosion takes place in the region with deficient vegetative cover; the ground is composed of werfen shists.

The dependance  $G = f(Q)$  from fig. 15 has been established for the lower flow of the river Neretva (gauging station Zitomislici — No. 6 in Table 1). As the dam with an accumulation of considerable volume has been constructed in the middle flow of this river, the greatest part of the sediment load, coming from the upper part of the watershed, is transported into this. The lower part of the watershed which is composed of the Karst limestones participates very little in the production of sediment, the erosion coefficient being therefore, very small ( $a = 0,0000148$ ). This explains the apparent contradiction of the results obtained in Fig. 15 and 16.

4) *The river Zapadna Morava watershed* embraces two rivers; Ibar and Zapadna Morava;  $c = 0,480$ .

The mean height over the sea level is about 1200 m; the basic geologic composition of this ground belongs to the trias formations partly karstified. The greatest part of the steep grounds of the Ibar watershed have not the vegetative cover except the regions of its upper flow. The region is under the influence of the continental Danubian climate. The annual mean quantity of precipitation is 700-1000 mm. About 50% of the territory of this watershed, especially in its upper flow, is subject to the erosion with expressed process of soil denudation. The erosion coefficient for this river is 0,00295.

As to the geologic composition of the territory of the river Zapadna Morava watershed, upstream from the river Ibar mouth, it consists of the sediments belonging to the younger paleozoic (fility, shists and limestones). There is no woods on the watershed. The precipitation is rather equally distributed on the watershed, the annual average quantity being 800-1000 mm. The correlation  $G = f(Q)$  for the river Zapadna Morava (gauging station Gugaljski Most, No. 15 on Table 1) was not established, due to a great dispersion of points; the erosion coefficient was not either calculated. This coefficient for the river Zapadna Morava would probably have the value of about 0,002.

5) *The river Drina watershed* embraces two gauging stations on the river Drina and one station on the river Lim;  $c = 0,370$ .

The basic geologic formations in the watershed of the river Lim consist of paleozoic shists, damaged by tectonic disturbances and diabase. The watershed is surrounded with high mountains; the upper part of the watershed is rather rich in woods, while the middle and the lower parts are bare. The river Lim carries proportionally the greatest quantities of sediment load into the river Drina. The erosion coefficient of the upper flow of the river Lim is  $a = 0,00047$ .

The watershed of the river Gornja Drina is surrounded with mountains, high over 2000 m. This region is composed of paleozoic and trias formations; mountainous parts are composed of trias limestones. In the middle of the watershed serpentine



massives as well as volcanic rocks can be found. The greatest part of the watershed is afforested while the plateaus and slightly sloped areas are pastures. The value of the erosion coefficient is relatively small for this river; it amounts to 0,000153.

The climate for the whole watershed is continental, winters being long and with plenty of snow in mountains. The quantity of the rainfall is 2000 mm per year in the southern parts and it decreases towards the north where it amounts 400-1.100 mm/year.

6) *The river Gornja Sava watershed* embraces two gauging stations on the river Sava and one station on the river Savinja, the left confluent of the Sava;  $c = 0,1$ .

The watershed of the river Sava is limited with mountain ranges high over 2000 m, mostly composed of carbon formations. The configuration of the ground is very characteristic, the higher parts of the watershed are bare, the lower are afforested. The region is subject to the continental and partly mediterranean type of climate. The average quantity of the rainfall amounts to 1400-3000 mm annually. A permeable basis of limestones, and a remarkable afforestness of the lower parts cause a minimal erosion on a watershed of the river Sava. Numerical values of the erosion coefficient for the river Sava are: 0,000193 and 0,00012. It is evident from the above said that greatest values for the erosion coefficient have those watersheds where the combination of factors, influencing the degree of erosion, are most unfavorable (unequal distribution of rainfall, relief, weak cohesion of the materials composing the ground, geologically unsuitable formations, insufficient afforestness, etc.) such a situation can be found on watershed of the river Juzna Morava. Well afforested watersheds will have small values of the erosion coefficient even if the territory is very sloped as it is the case with river Sava watershed.

According to obtained values of the erosion coefficient, the following constataions for the circumstances in Yugoslavia, are established.

— Values of the erosion coefficient  $a > 0,00070$  correspond to the watersheds with very expressive soil erosion.

— For districts where the degree of the soil erosion is small, the erosion coefficient amounts to  $a = 0,00030-0,00070$ .

— For watersheds with  $a < 0,00030$  the soil is not eroded.

In principle, the soil of the greatest part of Yugoslavia is subject to erosion as far as it is not protected by means of the vegetative cover; the exception represents the Karst regions, flat grounds on the north of the country and some other inland regions, particularly, along the river valleys. Therefore, the vegetation cover is a very important parameter which retards the erosion. Meanwhile, except the northwest and the central part of Yugoslavia, the woods are mostly destroyed; on territory without the vegetation cover the soil erosion is, from the west towards the east and the south, more and more intensive.

## CONCLUSION

By observations of suspended load carried out on several characteristic rivers in Yugoslavia, the amounts of soil erosion on the corresponding watersheds are evaluated. Minimum erosion in the period of observations is found to be in the far western part of the country; the drainage area of the Juzna Morava river, on the east side of the country, is exposed to intensive erosion and its average value amounts to about 700 tons/km<sup>2</sup>/year. Due to the fact that the degree of erosion is not uniform all over the watershed, one may surely expect the amount of erosion to be over 1000 t/km<sup>2</sup>/year.

Making use of the above measurements and of some other sources, the erosion



per km<sup>2</sup> and per year for other regions of the country is estimated by analogy. This way the necessary elements for the construction of an informative map of the erosion potential of Yugoslavia are obtained, in which the numerical values represent the lower limit of erosion.

For ten representative rivers a correlation is established between the average monthly values of flow and suspended load. The correlation lines are of the type:  $G = a Q^n$ , in which the exponent is found to be nearly constant ( $n = 2,25$ ) for all investigated regions, whereas the coefficient  $a$  varies in a wide range, offering thereby a possibility for comparison between the different drainage basins.

The parameter  $a$  is called the coefficient of erosion and it summarizes integrally all the characteristics of a drainage basin. The value of this coefficient depends on the nature of the corresponding drainage area and it is, therefore, in a certain way, an indicator of the state of soil and of its exposition to erosion on that particular watershed.

This method gives a possibility for classification of drainage areas with different characteristics because the numerical value of the coefficient of erosion can be evaluated for nearly every watercourse, on the basis of systematic suspended load observations.

# TRANSPORTS ÉNORMES DE MATÉRIAUX DE FOND PAR CERTAINES RIVIERES

M. PARDÉ

## RÉSUMÉ

Beaucoup d'hydrologues sont habitués à l'opinion que les transports de cailloux et de sable effectués par les rivières à proximité de leur fond (ou charriages, *bed load*, *Geschiebeführung*) sont, sauf par exceptions rares, très inférieurs en volumes annuels aux transports de boues (*silt*, *Schwebestoff*). Diverses constatations faites depuis un quart de siècle et consistant en mesures de volumes solides déposés, montrent que cette opinion est fautive en beaucoup plus de cas et surtout en bien plus grande proportion qu'on ne le croyait.

Les causes de ces transports sont l'intensité des pluies et des crues, puis les pentes qui, dans certains bassins, atteignent 30 à 60 % (moyenne) pour les versants. Grâce à ces déclivités, la capacité de transport, les charges limites lors des grandes crues, sont si énormes que le débit ne doit que rarement réaliser sa saturation en gros matériaux, quoique les transports paraissent pouvoir atteindre et dépasser 200 à 300 mc de cailloux et de gros sable par mètre cube d'eau et de matériaux réunis.

Rappelons par comparaison que les transports de boues les plus grandioses que l'on connaisse atteignent 5.000 à 7.000 tonnes par km<sup>2</sup> et par an, pour quelques dizaines de milliers de km<sup>2</sup> dans le bassin du Fleuve Jaune. Mais certaines petites surfaces dans ce domaine fournissent peut-être jusqu'à 10.000 et 20.000 tonnes au plus par km<sup>2</sup> et par an.

## A — IDÉES ANCIENNES SUR LES VALEURS NUMÉRIQUES DES CHARRIAGES

À l'instar de beaucoup d'hydrologues nous avons eu longtemps la conviction que les transports de cailloux et de sable effectués par les rivières au voisinage de leurs fonds (charriages, *Bed-loads*, *Geschiebeführung*) étaient presque fatalement et presque partout bien plus faibles, en volumes ou tonnages totaux annuels que les transports de boues (*silt*, *Schwebestoff*, limons, loess, etc.). Cette opinion avait d'abord comme base un fait indubitable, et qui constitue un principe essentiel dans toutes les études des cours d'eau : la *charge-limite*, ou de saturation, correspondant à la *capacité* de la force tractrice, de la puissance brute d'un courant donné, augmente d'autant plus que les grains, les particules des matériaux à véhiculer sont moins volumineux. Et des expériences confirmant la théorie nous enseignent que ces charges-limites peuvent être pour les boues portées en suspension, incomparablement supérieures (avec des rapports variant selon les calibres des grains) aux quantités maxima de sables et surtout de cailloux transportables par un débit déterminé en un certain chenal, toutes choses égales d'ailleurs.

De fait, là où l'on a pu, par des instruments immergés en rivière (cas très rares vues les difficultés pratiques lors des crues), ou après coup, grâce aux relevés des dépôts dans les lacs naturels ou artificiels, mesurer les charriages effectifs avec une approximation au moins passable, on a trouvé pour eux des valeurs le plus souvent modestes ou même très faibles. Cette médiocrité s'entend, soit pour les chiffres absolus, soit en comparaison de ceux-ci avec les quantités de troubles suffisamment connues par mesures directes, généralement faciles pour les matériaux en suspension.

Il n'y a pas ou guère à revenir sur l'opinion que pour la plupart des cours d'eau de plaines et de collines, ou même pour les rivières de montagnes parvenues assez loin de celles-ci dans les régions basses, les transports de fond sont dans la très grande majorité des cas très inférieurs à ceux des éléments tenus en suspension ; la proportion des premiers par rapport aux seconds, pour les valeurs moyennes annuelles peut être

de l'ordre du millième pour la Tisza <sup>(1)</sup> (sables fins), de quelques centièmes pour le Mississipi inférieur (sables), pour le Rhône vers Donzère (surtout des gros cailloux), et de 5 à 10 % pour le Danube à son entrée en Hongrie (petits graviers et sables). A regarder les choses de plus près on présume, et déjà ça et là on constate que le pourcentage des matériaux de fond peut être bien plus considérable, et même approcher de 50 ou de 100 % (ce qui eût paru naguère extravagant) sans que ces charriages aient des valeurs absolues élevées <sup>(2)</sup>. Il suffit que dans les bassins considérés la nature du sol et la richesse de la couverture végétale ou ces deux causes empêchent la formation des boues, sauf pour une fraction infime de ce que les courants pourraient véhiculer. Mais le problème envisagé aussi amplement, à savoir, celui des transports comparés de troubles et de cailloux ou de sables en n'importe quelles régions et pour tous les genres de régimes fluviaux n'est point ce dont nous voulons traiter ici. Nous entendons examiner et apprécier par comparaison les transports les plus volumineux réalisés ou possibles, pour les matériaux grossiers, soit lors de crises paroxysmales et donc brèves, soit selon les moyennes annuelles.

La-dessus, on a toujours admis, et l'on ne devait pas avoir tort, que les valeurs les plus imposantes des charriages se rencontraient dans les secteurs fluviaux montagneux, les plus propices à la formation et au détachement de blocs et de cailloux qui peuvent devenir des sables, et à l'existence de très grandes forces tractrices, grâce aux pentes et aux forts débits voulus pour les hauts reliefs par l'abondance pluviale.

Or, même pour les rivières de hautes montagnes à versants extrêmement inclinés, comme les Alpes, on croyait généralement à des charriages très inférieurs pour les moyennes annuelles tout au moins, aux transports boueux. On ne pouvait à vrai dire utiliser que peu de constatations toutes faites après coup sur des matériaux immobilisés. Par exemple le Verdon a déposé derrière son barrage de Quinson, de 1878 à 1899, 27 mc de graviers, soit peut-être 50 tonnes, par km<sup>2</sup> et par an. Il faut compter plusieurs fois plus pour les passages de troubles, bien que le Verdon ne soit pas très boueux. Ou encore l'Arda, rivière de l'Apennin aurait apporté au lac de Mignano 157 mc de matériaux de fond, par km<sup>2</sup> et par an, contre 2300, chiffre d'ailleurs énorme en Europe <sup>(3)</sup>, pour les troubles.

Et, soit d'après quelques mesures interprétées tant bien que mal, de dépôts, soit d'après des formules plus ou moins exactes et difficilement applicables, on avait admis assez communément certains tonnages — types de cailloux et de sables pour les charriages des rivières de montagne. Ces hypothèses n'indiquaient généralement guère plus de 100 à 300 tonnes par km<sup>2</sup> et par an selon les pentes, les terrains, la végétation, le climat, pour des rivières à forts courants et à grosses pentes comme l'Isère et la Durance moyennes, l'Arve vers Genève, le Drac etc... C'était encore beaucoup moins que les 500 à 1000 tonnes de boues et plus par an qu'on croyait devoir attribuer pour leurs transports en suspension à la plupart des rivières issues des grandes Alpes.

## B — CONSTATATIONS ET PRÉSUMPTIONS ULTÉRIEURES

Une communication présentée par l'auteur de ces lignes au Congrès de

<sup>(1)</sup> Cf. là-dessus les travaux du grand spécialiste hongrois M. J. BOGARDI, et notre article : sur les transports de matériaux de fond par les rivières à propos d'un mémoire de M. J. BOGARDI, *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 1956.

<sup>(2)</sup> Ils sont d'ailleurs limités, nous le répétons, par les capacités de transport assez modiques pour les matériaux considérés des rivières en question.

<sup>(3)</sup> Fort probablement il s'agissait d'une brève suite d'années. Les observations d'une plus longue période auraient peut-être indiqué des apports nettement plus faibles.

l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique à Rome <sup>(4)</sup> en 1954, a montré comment les opinions avaient évolué, sur les phénomènes ici en question. On avait découvert ou soupçonné en premier lieu que les chiffres plus haut allégués pour les transports de fond dans les rivières de montagnes pouvaient être non seulement atteints mais encore fortement dépassés dans les tronçons supérieurs les plus inclinés, pour des bassins de quelques dizaines de km<sup>2</sup> par exemple. Pour ceux-ci nous envisagions depuis assez longtemps des charriages possibles de 500 à 700 tonnes et plus par km<sup>2</sup> et par an. En outre, on avait constaté, non sans surprise, que l'Adda, drainant plus de 2600 km<sup>2</sup> aurait jeté dans le Lac de Côme (1928-34) environ 280 mc de gros matériaux par km<sup>2</sup> et par an. En contre-partie on avait obtenu confirmation que les transports de boues, même à l'issue de hautes montagnes étaient pour maintes rivières avec moins de 300 et de 200 tonnes par km<sup>2</sup> et par an, très inférieurs aux quantités jugées précédemment et un peu trop rapidement typiques. Ainsi, on commençait à présumer, puis à conclure que les charriages de fond en certains secteurs très inclinés et attaqués par des crues violentes devaient représenter non le dixième ou le vingtième mais la moitié, ou les trois quarts des transports en suspension déjà notables; ou même les égaux ou en valoir le double, le triple ou plus, là où la nature des terrains peu délitables en boues, mais fragmentables en graviers et en sables réduisait très considérablement, voire à peu de chose les tonnages en suspension <sup>(5)</sup>. Et même si l'on considérait les valeurs absolues, on en venait à se convaincre que les charriages pouvaient mettre en mouvement dans les hauts tronçons montagneux, des volumes qui, ailleurs fournis par les seuls troubles eussent déjà paru très imposants. Mais même des auteurs enclins à des hypothèses audacieuses ne supposaient point que les records des charriages puissent se comparer à ceux des transports boueux.

#### C — DONNÉES RÉCENTES SUR DES CHARRIAGES MONSTRUEUX

Or de nouvelles données, stupéfiantes pour nos préjugés anciens, et point douteuses, montrent que pour certains bassins fluviaux de divers pays, les charriages en éléments de fond, excèdent de beaucoup les plus forts chiffres émis plus haut et même égalent ou approchent de près les transports de troubles effectués annuellement par divers fleuves extraordinairement boueux.

##### 1 — Rivières japonaises

Les plus frappantes de ces valeurs apparaissent au Japon <sup>(6)</sup> où elles résultent de mesures faites pour les remblaiements produits à l'amont de nombreux barrages <sup>(7)</sup>. On a trouvé en moyennes de plusieurs années, jusqu'à 3030 mc (5500 tonnes ?) par km<sup>2</sup> de bassin et par an dans le district de Chubu. En ce secteur, neuf réservoirs ont reçu 591 mc de matériaux par km<sup>2</sup> et par an. Dans le district de Hokuriku, l'apport à cinq réservoirs a été en moyenne, de 832 mc par km<sup>2</sup> et par an; et il représente 410 pour 44 bassins de tout le Japon.

<sup>(4)</sup> PARDÉ (M.) — Sur les érosions superficielles, les transports solides et les remblaiements effectués par les eaux courantes. Publication n° 36 de l'Association int. d'Hydrologie Scientifique, Assemblée générale de Rome, tome I, 1955, p. 194-206.

<sup>(5)</sup> 10 mc par km<sup>2</sup> et par an d'après des mesures directes pour l'Adda avant le lac de Côme. Mais nous avouons que la faiblesse de ce chiffre nous surprend.

<sup>(6)</sup> D'après la très intéressante publication suivante : rédigée en anglais : Rivers in Japan, River Bureau, Ministry of construction, Tokyo, 1954, 26 × 17 cm, 54 pages, illustration abondante.

<sup>(7)</sup> Nous pensons qu'on a incluí dans ces chiffres les volumes solides accumulés à l'amont des surfaces liquides originelles par l'effet de dépôts régressifs.



Dans certains cours supérieurs montagneux on paraît avoir mesuré jusqu'à 5000 mc (8000 à 10000 tonnes) par km<sup>2</sup> et par an. Rappelons par comparaison, que les transports de boues les plus grandioses connus de l'auteur atteignent 2500 tonnes par km<sup>2</sup> et par an pour le Fleuve Jaune à l'origine de son delta, et 5000 voire peut-être 7000 tonnes pour certains de ses affluents et sous-affluents, le Wei-Ho le Ching-Ho.

Nous aimerions pouvoir mieux analyser ces phénomènes japonais et, pour cela, avoir des résultats détaillés relatifs à chaque rivière, avec indication des surfaces réceptrices, des altitudes et des pentes, des taux de boisement etc... En principe, d'après ce que l'on sait de la végétation nippone, la forêt a des chances d'occuper des pourcentages considérables des surfaces réceptrices dans beaucoup de bassins pour lesquels on nous fournit des renseignements groupés. Jusqu'à nouvelles informations de sens contraire, nous admettons sans nous aventurer beaucoup, que, toutes choses égales d'ailleurs, les charriages les plus volumineux correspondent aux boisements les moins riches.

Et dans l'ordre général, les transports imposants ou formidables de gros matériaux opérés par maintes rivières japonaises sont dus d'abord aux reliefs accidentés de tous leurs bassins pour ainsi dire (car les montagnes se dressent dans ce pays en tous les secteurs), puis à la violence des précipitations et des crues. Ici de vastes zones peuvent recevoir lors des pluies dites Baiu (des prunes) en mai-juin, ou des averses causées à la fin de la saison chaude par les typhons, plus de 500 et 700 millimètres en un jour aux lieux les plus arrosés, et plusieurs centaines de millimètres en quelques jours sur des bassins de 1000 à 10000 km<sup>2</sup>, avec des concentrations pluviales énormes en 10 ou 12 à 24 heures. D'où des maxima fluviaux démesurés et peu surpassables dans le monde (sauf au Texas, mais là un relief bien moins saillant doit rendre les charriages beaucoup plus faibles qu'au Japon). Puis en sus des crues-records, des gonflements fluviaux déjà graves, très rares ou impossibles dans une grande partie de l'Europe, et capables d'assumer de gros transports de fond, surviennent très fréquemment dans le pays considéré. D'où les transports de gros éléments dont on a pu donner une idée trop globale, mais déjà significative.

## 2 — *Californie méridionale*

Les phénomènes que nous allons maintenant relater concernent principalement des charriages observés lors de crues point monstrueuses, mais déjà très puissantes ou formidables et animées par des forces tractrices impressionnantes. L'action de sape <sup>(8)</sup> effectuée à la base des versants par ces masses d'eau et de débris, intensifie les éboulements et glissements qui alimentent les-dits charriages.

L'un de ceux-ci a offert une violence toute particulière et a causé un engravement remarquable dans la vallée de la Crescenta, ou La Cañada, au Nord de Los Angeles au cours de la nuit du 31 décembre 1933 au 1<sup>er</sup> janvier 1934. A leur débouché dans cette vallée, cinq torrents ou « canyons » très courts, drainant au total une vingtaine de km<sup>2</sup> des San Gabriel Mountains pas plus élevées, ici, que 1500 mètres ont déposé (nous n'écrivons ce chiffre qu'en hésitant, mais après en avoir relu avec soin l'équivalent en yards cubes) 465000 mc de gros matériaux <sup>(9)</sup>, soit par km<sup>2</sup> 23250 mc ou environ 41.800 à 45.000 tonnes. Et d'après des témoignages très précis sur la faible durée des intumescences, la majeure partie de ce matériel a été apportée en moins d'une heure. Deux blocs de l'ordre de 40 tonnes pour chacun ont été déposés sur une

<sup>(8)</sup> Les mêmes processus agissent aussi, naturellement, dans les autres régions très accidentées où nous signalons des charriages extraordinaires en gros matériaux et, par exemple, certainement au Japon.

<sup>(9)</sup> Dans notre communication présentée au Congrès de Rome et citée plus haut, par crainte d'une faute d'impression, ou d'une méprise, nous n'avions pas osé indiquer plus de quelques dizaines de milliers de mc déposés en cette circonstance.



avenue selon une photographie qui nous enlèverait, s'il en était besoin, tout soupçon de fable. Nous ne saurions trop recommander la lecture approfondie d'un livre <sup>(10)</sup> du Geological Survey où les auteurs analysent avec une intelligence extrêmement vive, d'après des enquêtes et des observations minutieuses après coup, les mécanismes des effarants phénomènes ainsi produits et des érosions ou des remblaiements torrentiels en général.

Un autre ouvrage <sup>(11)</sup> nous décrit d'autres charriages <sup>(12)</sup> et dépôts excessifs réalisés lors de la crue dévastatrice du 1-2 mars 1938. Les apports de « débris » (presque uniquement des gros matériaux et surtout des graviers) ont été captés et donc ont pu être mesurés après l'événement, en pleine montagne ou vers l'entrée en plaine, dans de petits bassins établis avant tout pour retenir ces éléments, ou dans des réservoirs plus amples destinés à écrêter les crues en emmagasinant autant que possible des débits dangereux; ce qui implique bien entendu l'interception des sables et cailloux.

Dans un petit bassin pour débris, à l'issue de 0,7 km<sup>2</sup>, il s'est accumulé 32.500 mc par km<sup>2</sup>. Dans le réservoir de Devils gate où les débits de l'Arroyo Seco affluent de 79,3 km<sup>2</sup>, l'engrèvement correspondit à 19900 mc (35000 à 40000 t) par km<sup>2</sup> de bassin. Et chose plus frappante et révélatrice à l'issue du bassin récepteur le plus grand considéré, celui de la San Gabriel (520 km<sup>2</sup>) au moins 17 millions de tonnes au total furent amenées par la crue, soit 32.500 par km<sup>2</sup> (18000 mc). Pour 210 km<sup>2</sup> du Tujunga Creek le contingent représentait encore 9400 mc par km<sup>2</sup>.

Tous ces apports ont eu lieu presque certainement en moins de 24 heures. Leurs proportions aux volumes totaux (eau et matériaux réunis) les plus forts durant le même temps furent 6,44 % pour le Tujunga creek, 10,6 % pour la San Gabriel, 17,1 % pour l'Arroyo Seco. D'où la quasi certitude que pour ces rivières, au moment des maxima des débits solides et liquides combinés, la part des premiers par rapport aux totaux était de 150 à 200 ou 300, sinon plus pour 1000 en volume, avec un taux supérieur, bien entendu, en poids par mètre cube.

Pour les transports paroxysmaux en suspension dans les rivières et non dans des torrents de montagne, on a mesuré, à notre connaissance en poids pour 1000, les chiffres records suivants : 680 sur le Rio Puerco, affluent du Rio Grande del Norte au Nouveau Mexique, plus de 500 pour le Wei-Ho et le Ching-Ho, ou pour le Yung-Ting Ho, vers Tien-Tsin, plus de 400 pour le Fleuve Jaune à l'origine de son delta.

Il est impossible de savoir si en Californie, ces charriages forcenés de mars 1938 et ceux des 22-23 janvier 1943, eux aussi très intenses, ont accru beaucoup au-dessus des valeurs annuelles à retenir pour 50 à 100 ans, les moyennes qui correspondent aux observations de 10 à 11 ans (et même de 17 à 19 ans pour deux réservoirs).

Ces moyennes nous sont présentées pour les plus petits des bassins aboutissant à des réservoirs dans un très intéressant rapport du général W. C. CASSIDY (Corps des ingénieurs de l'armée américaine) <sup>(12)</sup>. D'après lesdits renseignements en tout cas, les charriages de l'année marquée par les dépôts les plus volumineux (en général 1937-38) égalent généralement plusieurs fois les volumes annuels moyens de 10 ou 11 ans et plus; à savoir 4,6, 4,3, 4,5, 3,9, 3,75, 3,64, 3,93 fois, pour sept petits bassins compris entre 2,67 et 6,2 km<sup>2</sup>. On ne nous indique malheureusement pas les moyennes annuelles pour les domaines plus grands de la San Gabriel, de l'Arroyo-Seco et du

<sup>(10)</sup> TROXELL (Harold C.) and PETERSON (John Q.) Flood in La Canada Valley, Water Supply Paper n° 796 — C du Geological Survey, Washington, 1937, in-8°, h. 53-98, 10 fig. 19 pl.

<sup>(11)</sup> TROXELL (Harold C.) and others, Floods on march 1938 in Southern California, W.S. Paper n° 844 du Geological Survey, Washington, 1942, in-8°, 399 p., 26 pl. h. texte, 40 fig. 32 tableaux.

<sup>(12)</sup> CASSIDY (W. C.) — The debris problem in the Los Angeles area and its control, volume IV des comptes-rendus du quatrième congrès international pour les grands barrages, tenu à New-Delhi en janvier 1951, n° 69-92, 11 pl. phot.

Tujung Creek, mentionnés ci-dessus comme ayant émis des charriages phénoménaux le 2 mars 1938.

Cependant, pour les très petites surfaces auxquelles s'appliquent les moyennes annuelles présentées par le Général CASSIDY, on trouve au maximum 6560 mc par km<sup>2</sup> et par an pour le réservoir de Hall Beckley, 4310 pour le Pickens Creek (torrents aboutissant à la vallée de la Canada), bien moins pour les autres. Les chiffres de tonnages étant pour des matériaux aussi grossiers, presque les doubles des valeurs exprimées en mètres-cubes, nous pourrions conclure que ces charriages sud-californiens dépassent les plus forts nombres que nous avons signalés pour le Japon. Mais faute de renseignements sur les surfaces considérées en ce dernier pays, la comparaison manque de bases parfaitement valables.

L'on peut seulement émettre l'opinion que dans les montagnes californiennes les transports de fond par les rivières sont peut-être aussi volumineux qu'au Japon. Cependant les crues californiennes malgré leur puissance très imposante, doivent être nettement moins nombreuses et moins brutales que les crues nippones. Mais les bassins fluviaux japonais doivent jouir d'une couverture végétale, et avant tout forestière, bien mieux fournie et bien plus efficace contre l'érosion que le Chaparral de Californie méridionale. Tout de suite, nous insistons sur le fait que cette remarque générale, quoique apparemment plausible, est peut-être inexacte. au moins dans le détail, par simplisme.

#### TRANSPORTS EXORBITANTS OU TRÈS VOLUMINEUX DE MATÉRIAUX GROSSIERS EN EUROPE

Nous continuerons l'énoncé de ces phénomènes avec un exemple numériquement bien peu précis, mais de toutes façons encore très spectaculaire et concluant relatif à une région française. Lors de la crue des 17-20 octobre 1940 et surtout en moins de 24 heures, le 17 et le 18, les rivières des Pyrénées orientales et principalement le Tech supérieur et moyen et ses affluents, puis les tributaires méridionaux de la Têt (versant du Canigou) ont perpétré des charriages extravagants. Nous ignorons quelles quantités de cailloux et de sables ont été entraînées à la mer. Mais les dépôts effectués sur les champs d'inondation, et dans les lits apparents, fantastiquement remblayés et élargis de deux ou trois à cinq ou dix fois, aux dépens des terrains cultivables, permettent des évaluations point trop aventureuses sur les cubes solides qui, après avoir été emportées par le ruissellement torrentiel ont été abandonnés. Nous n'hésitons point à déclarer que le Tech et ses affluents ont dû déplacer sur quelques kilomètres ou plus, au moins 20 ou 25 millions de tonnes de cailloux et de sables. Et la réalité demeure très saisissante si cette évaluation est exagérée du double. Mais une erreur aussi grave nous paraît peu vraisemblable <sup>(13)</sup>.

20 millions de tonnes représenteraient environ par km<sup>2</sup> 20.000 tonnes, et plus de 10.000 mc pour le bassin total. Et à l'amont de Céret, pour 500 km<sup>2</sup>, il ne semble point déraisonnable de compter 15 millions de tonnes déplacées, soit 30.000 ou plus de 15000 mc par km<sup>2</sup>. Selon toutes probabilités, il serait bien étonnant que la rivière véhicule en année moyenne plus de 150.000 à 200.000 tonnes (boues et matériaux de fond réunis), à la fin de son cours.

<sup>(13)</sup> Les rivières fort inclinées de régime nival ou glaciaire, ou tropical typique, ont tous les ans une saison de hautes eaux avec débits assez abondants et énergiques pour accomplir des charriages jamais trop minimes en gros matériaux. Pour elles les écarts de ces transports d'une année à l'autre sont en principe bien moindres que pour les cours d'eau de régime pluvial ou pluvio-nival dans nos régions tempérées, y compris les zones méditerranéennes.

Cf. PARDÉ (M.) La formidable crue d'octobre 1940 dans les Pyrénées orientales, *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, tome XII, 1941, fasc. 3 p. 237-279, 7 fig., 1 carte dépliant et 4 pl. phot. hors-texte.

La cause des événements d'octobre 1940 fut essentiellement la chute sur un relief montagneux, culminant à 2763 mètres, de pluies-records, avec des maxima locaux sans doute supérieurs à 1000 mm en un jour; et en conséquence des débits maxima peut-être sensiblement plus énormes pour moins de 100 et de 50 km<sup>2</sup> que ceux des crues les plus extraordinaires bien connues pour le Japon à l'issue de surfaces comparables. On peut encore présumer qu'un phénomène aussi exorbitant, pour les rivières roussillonnaises en question, doit ne survenir qu'à plusieurs siècles d'intervalle moyen.

Des averses et des intumescences fluviales deux ou trois fois moins immodérées quoique encore très sévères, ont eu pour conséquences des déplacements moindres mais déjà très imposants de matériaux solides dans les cas que nous allons dire. En cinquante heures de Septembre 1920, un sous-affluent glaciaire du Rhône alpestre Suisse, la Saaser Visp a précipité dans le lac de Mattmark, où aboutissent les eaux de 37 km<sup>2</sup> 300.000 mc de matériaux dont 200.000 à peu près pour les blocs et les cailloux, soit, pour ces derniers dix fois plus, selon les estimations du regretté O. Lütschg, que les transports moyens annuels de toutes espèces en un an. Puis dans les Alpes dauphinoises du Sud, le 28 septembre 1928, le Drac et son affluent la Sevravaise ont mobilisé sans doute, en Champsaur et Valgaudemar, plusieurs millions de mc de matériaux de fond. Beaucoup sont restés en chemin dans les lits ordinaires ou les champs d'inondation, mais le réservoir créé derrière le barrage du Pont du Loup a dû recevoir quelques centaines de milliers de mc de cailloux et de sables en peu de jours.

#### CONCLUSIONS ET HYPOTHÈSES

Essayons de tirer de ces renseignements quelques constatations et suppositions de portée générale.

##### 1) *Authenticité de charriages comparables aux plus gros transports en suspension*

Sans aucun doute les charriages annuels de gros matériaux <sup>(14)</sup> peuvent en certains petits bassins fluviaux atteindre ou dépasser par unité de surface les quantités records que l'on a mesurées pour les transports de boues les plus prodigieux et excéder, de beaucoup peut-être, éventuellement de plusieurs centaines pour cent les volumes et les poids de boues véhiculés dans les mêmes temps par les mêmes rivières qui débitent tant de cailloux et de sables. Puis sur certaines rivières qui ne connaissent point chaque année des débits abondants et de gros transports, les charriages paroxysmaux de quelques jours ou de quelques heures peuvent égaler 10 fois, 100 fois, 500 fois peut-être les charriages de fond accomplis aux mêmes lieux en année moyenne; et à bien plus forte raison, ceux qui correspondent aux années de faibles débits avec crues modérées ou insignifiantes et rares.

##### 2) *Explication assez facile, par les très fortes pentes, de ces chiffres*

A bien réfléchir, les chiffres exorbitants que nous avons présentés au sujet des charriages ne devraient point ou guère surprendre les hydrologues avertis puisque

<sup>(14)</sup> Nous n'osons plus écrire ici : *de fond*, car dans les courants d'une turbulence excessive qui assument les plus extravagants de ces transports, au-dessus de lits très rugueux et inclinés, des masses imposantes de sables, et même sans doute de cailloux déjà gros, doivent circuler en suspension, c'est-à-dire sur une grande profondeur jusqu'à proximité des surfaces liquides.



dans tous les cas il s'agit de bassins très montagneux. En effet, on savait que les « laves » des torrents dans les hautes montagnes à maigre végétation <sup>(15)</sup> peuvent déborder deux ou trois fois plus de graviers et de sables, que d'eau, à condition encore que la nature des terrains s'y prête; et cela semble avoir lieu pour beaucoup de bassins. Car une foule de roches constituant les montagnes sont assez dures pour ne point ou guère donner de boues après érosion, tout au moins avant de longs parcours; assez vulnérables, cependant, grâce à certaines insuffisances de cohésion, et aux alternances de chaleur et de froid, pour se décomposer en blocs et en cailloux. Ces formations dont beaucoup sont cristallines, ou de schistes suffisamment durs doivent, toutes choses égales d'ailleurs, nourrir les transports les plus excessifs en matériaux grossiers. Et d'autre part, les déclivités inhérentes aux reliefs très saillants donnent aux débits des cours d'eau qui parcourent ces zones, là où surviennent des pluies assez intenses (et c'est le cas en maintes chaînes) la force tractrice nécessaire pour le charriage en masse d'éléments volumineux.

Il nous semble assez peu contestable que dans les mécanismes de ces transports, la pente au-delà de certains taux, doive devenir un facteur bien plus important que la profondeur et que le rayon hydraulique. Le fait que lorsque la déclivité est assez accentuée, des objets s'ébranlent par le fait seul de la gravité, sans intervention d'un fluide, ou par l'effet d'impulsions légères, semble un indice capital à cet égard. Et, signalons en corrélation avec cette remarque théorique une constatation décisive. Les cours d'eau californiens plus haut considérés obéissent à des caractéristiques morphologiques absolument torrentielles, grâce à des pentes générales qui, pour les bassins, entre les sommets et les stations de presque toutes ces rivières, dépassent 40 %. Sans doute des déclivités analogues ou pas beaucoup moins prononcées se rencontrent-elles sur les cours d'eau nippons auteurs de charriages maxima que l'on a chiffrés. Et les bassins du haut Tech et de ses affluents, la Coumelade, la Parsigoule, le Riu Ferrer etc... offrent des inclinaisons extrêmement fortes.

### 3) Possibilité de transports boueux records point ou pas beaucoup supérieurs aux charriages maxima décrits ci-dessus

Cependant le même facteur doit jouer à fortiori pour les éléments fins. Et, en raison de l'avantage écrasant, démesuré, des charges-limites réalisables théoriquement pour ceux-ci dans un courant donné, les bassins fluviaux de montagnes devraient connaître des transports de boues extrêmement supérieurs à ceux des éléments grossiers.

Or, la chose semble rien moins que certaine. Tout au moins nous ne connaissons point pour les troubles venus des hautes montagnes des dégradations spécifiques égales à certains chiffres que l'on a retenus pour les cailloux. Si une information meilleure confirmait les hypothèses qui résultent actuellement pour notre esprit de cette comparaison, la cause première du fait assez paradoxal, serait la suivante :

Les terrains (par excellence les loess, puis les argiles, et même les marnes très tendres) susceptibles d'abandonner à l'érosion les particules minuscules qui permettraient en boues des dégradations plusieurs fois supérieures à celles que représentent les charriages nous paraissent trop fragiles, pour constituer les reliefs montagneux très escarpés. Or, en dehors de ceux-ci, la force tractrice ne serait point assez exaspérée par la pente pour pouvoir engendrer des turbidités fantastiques, et donc des transports en boues équivalant par exemple à 50.000 ou 80.000 tonnes par km<sup>2</sup>. En d'autres termes la friabilité extrême, génératrice de dégradations aussi extravagantes, serait

(15) Et de toute façon au-delà de certaines limites d'altitude (2200 à 2500 mètres dans les montagnes d'Europe occidentale) il n'y a pour ainsi dire plus de végétation protectrice, même, si plus bas, les plantes, grâce à une forte pluviosité, surabondent.

incompatible avec des reliefs très accidentés en dehors desquels ces érosions ne pourraient avoir lieu.

Nous irons même plus loin et nous abandonnerons à un jeu de l'esprit, mais point peut-être au paradoxe, en émettant les opinions suivantes :

Admettons que des terrains très tendres, décomposables en éléments ultrafins, puissent constituer des montagnes très saillantes, à pentes aussi abruptes que celles des reliefs en roches dures; pour les bassins torrentiels les plus élevés occupant quelques  $\text{km}^2$ , les transports de boues paroxysmaux effectués par les plus gros débits seraient à peine supérieurs aux charriages de blocs et de cailloux opérés dans les domaines à roches dures. Car, dans ceux-ci, les teneurs en gros éléments dépasseraient 800 et peut-être 900 pour 1000, tandis que même pour les boues les plus ténues, 1000 pour 1000 resteraient un taux inaccessible. Cependant, les charriages *annuels totaux* seraient beaucoup plus élevés pour les bassins à formations tendres. Car même des débits modérés y véhiculeraient encore, grâce aux pentes, par exemple 20 ou 50 voire 100 pour 1000 de troubles alors que ces mêmes débits ne remueraient point ou guère de cailloux.

Mais reprenons un contact moins lâche avec les réalités. Les chiffres de 5000 et peut-être 7000 tonnes de boues par  $\text{km}^2$  et par an, que nous avons signalés comme records connus de nous pour des affluents du Fleuve Jaune s'appliquaient à des bassins de plusieurs dizaines de milliers de  $\text{km}^2$  (plus de 50.000 pour le Ching-Ho). Ne doit-on pas supposer qu'à l'issue de quelques centaines ou quelques dizaines de  $\text{km}^2$  en cette zone des loess, moyennant certaines conditions locales (protection végétale particulièrement faible, possibilité d'averses relativement très fortes malgré la médiocrité des moyennes pluviales annuelles et reliefs assez différenciés quoique en rien-montagneux) telles ou telles rivières doivent pouvoir transporter jusqu'à 20000 ou peut-être 25000 tonnes ou plus de boues par  $\text{km}^2$  et par an. S'il en était ainsi, les records locaux des transports solides n'appartiendraient sans doute pas aux charriages les plus extraordinaires en certaines montagnes très accidentées. Il faudrait les attribuer aux volumes les plus amples d'éléments très fins, de loess, émanant de zones moyennement saillantes, sous des *climats trop secs* dans l'ensemble.

Cependant, nous n'avons pas le droit de nous proclamer certain que les transports de boues ainsi conditionnés puissent être assez abondants pour offrir les records mondiaux de la charge solide annuelle. Car sous les climats peu pluvieux en question, les rivières ont des débits annuels spécifiques très faibles et qui, partant, ne permettent peut-être pas le transport des charges solides records envisagés ci-dessus.

Soit, par exemple, 20000 tonnes par  $\text{km}^2$  et par an, pour un débit moyen annuel (module) de 2 lit. sec par  $\text{km}^2$ . Cela impliquerait une turbidité spécifique (moyenne annuelle) de 316 k par mc — et sans doute 600 ou plus lors des très grandes crues. Il est très possible que la force tractrice des dits cours d'eau demeure insuffisante pour de semblables transports. Et cette impuissance serait encore moins douteuse pour le cas où la rivière débiterait seulement en année moyenne 1 lit. sec. par  $\text{km}^2$ , indigence courante dans les pays subarides. Même dans de petits bassins supérieurs où la pente atteindrait un à quelques mètres par kilomètre, l'inclinaison ferait défaut autant que l'abondance hydrique, pour que les records de charriages en montagne soient égaux. Mais nous manquons de données expérimentales, certaines et précises à la fois, sur les transports de boues fines les plus exorbitants pour les très petits bassins subarides. Et d'abord nous ne possédons point de chiffres réels sur les pentes, les modules spécifiques et les crues possibles pour les rivières qui drainent ces terrains.

#### 4) Supériorité sensible, puis éclatante des records en boues pour les grands bassins

Que les records mondiaux des transports annuels pour de petits bassins appartiennent aux charriages en pleine montagne, ou aux transports de boues en région



subarides, nous l'ignorons, bien que la seconde hypothèse nous semble tous comptes faits la meilleure jusqu'à plus ample information. Mais, de toutes façons, au-delà de certaines étendues pour les surfaces réceptrices, les transports annuels les plus volumineux sont ceux de troubles; et selon toutes probabilités l'avantage de ceux-ci s'accroît avec les superficies des bassins et doit devenir écrasant <sup>(16)</sup> pour des domaines fluviaux très grands (plus de 100.000 km<sup>2</sup> par exemple).

Il serait intéressant de savoir (mais nous sommes loin de cette connaissance) pour quelles surfaces réceptrices maxima, les charriages annuels moyens les plus puissants de fond, dans le monde peuvent dépasser des valeurs limites telles que 10.000, 5.000, 1.000 et 500 puis 100 tonnes par km<sup>2</sup> et par an.

Et dans cet ordre d'idées on voudrait tout particulièrement ne point ignorer les charriages relativement très gros que pourraient assumer certaines rivières drainant 50.000, 100.000, 500.000 km<sup>2</sup> et plus. En ceci, et dans les proportions respectives des matériaux grossiers, des troubles, et des substances dissoutes (celles-ci jusqu'à présent omises dans notre texte) la nature doit réaliser les assortiments et les totaux les plus divers. Des progrès dans la connaissance de ces valeurs importeraient beaucoup au développement de la Science potamologique.

#### 5) *Comparaison des transports paroxysmaux en troubles et en éléments grossiers*

Nous n'essaierons guère de comparer les transports paroxysmaux correspondant respectivement aux matériaux grossiers et aux troubles. Nous sommes tentés de croire que le premier genre de matériaux, dans quantité de montagnes très découpées, fournit les apports de beaucoup les plus gigantesques, lors de certaines crises. Mais si des pluies diluviennes, des « cloudbursts » du type Texas peuvent frapper des zones de loess dénudées, il doit suffire d'un relief de collines modérément hautes mais nombreuses, et de falaises ou de versants très inclinés, ceci dû à la sape érosive, dans un réseau fluvial très dense, pour que les transports de boues, en quelques heures, totalisent des tonnages fantastiques, et seulement concevables pour qui connaît les extravagances des débits et des turbidités possibles en pareils cas. Malheureusement, nous ignorons si de tels facteurs peuvent opérer en conjonction dans telles ou telles régions. Peut-être cela est-il possible à l'amont de Pékin et Tientsin (bassins aboutissant au Yung-Ting-Ho) et dans certains secteurs orientaux point trop plats du vaste domaine où sévit le Fleuve Jaune.

#### 6) *Chimère du calcul des charriages excessifs au moyen de formules à priori*

Enfin, l'énormité des charriages possibles en gros matériaux dits de fond, ruine ou tout au moins compromet notre espoir le meilleur relatif à la connaissance des quantités véhiculées de la sorte. Notre illusion en ceci était la suivante. Si les *mesures directes* de matériaux volumineux et même de sables, pendant leur transport deviennent impossibles, lors des fortes crues des rivières grosses transporteuses, c'est-à-dire là et quand ces relevés seraient de beaucoup les plus nécessaires, il nous reste pour un avenir peut-être proche la ressource des formules. Le jour où l'on aurait établi des équations suffisamment sûres d'usage universel pour les transports solides, leur application judicieuse (il est vrai très ardue) aux secteurs fluviaux particuliers, nous donnerait par approximations peut-être satisfaisantes les valeurs des charriages en des cas très nombreux. Car force rivières trouvent dans leurs lits mobiles, ou bientôt aux dépens de leurs fonds et de leurs versants rocheux lorsqu'ils ne sont point trop durs, de quoi réaliser les charges-limites voulues en gros matériaux par leurs divers

<sup>(16)</sup> Nous envisagerons ici, répétons-le, *les records* pour chaque genre d'éléments, transportables, et chaque étendue des surfaces réceptrices.

débites : or les quantités que doivent donner les formules, sont généralement assez modérées et point supérieures aux stocks en matériaux dont disposent dans leurs lits maints cours d'eau.

Ce principe reste d'ailleurs vrai sans doute pour les rivières point trop inclinées, ni sujettes à des courants trop puissants. et qui coulent sans interpositions, trop fréquentes de fonds rocheux, sur des réserves inépuisables, grâce aux affluents, de matériaux mobiles. Mais, pour les cours d'eau montagneux très inclinés et sujets à des crues énormes, ou simplement très puissantes, les charges-limites, même en gros matériaux sont immenses et, de ce fait, peuvent dépasser de beaucoup et chose plus grave, par des taux extrêmement variés (par exemple de 5,10 de 100, de 1000 % etc.) les quantités de cailloux et de sables que le fond et les berges peuvent fournir. Cet excédent des capacités théoriques intrinsèques sur l'alimentation possible en particules est d'autant plus élevé que le lit et les versants sont plus rocheux et constitués de formations plus résistantes. Or, dans l'état actuel de nos connaissances et sans doute longtemps encore (sinon toujours) on ne possédera pas les moyens de calculer en fonction de chaque roche, de chaque pente, de chaque débit, les fractions des charges-limites réalisables. Et pour maints cours d'eau, surtout en montagne, les transports paroxysmaux représentent de très fortes proportions des charriages totaux annuels. Nous ne croyons donc plus qu'on puisse évaluer ceux-ci avec une approximation suffisante pour des rivières très violentes, à talwegs rocheux, même si l'on connaissait exactement pour elles la répartition dans le temps de tous les débits possibles, et des forces tractrices brutes et donc des capacités ainsi créées.

# RIVER DRIFTS IN THE USSR

G. V. LOPATIN

## SUMMARY

1. Drifts and run-off of rivers should be treated together with the problem of water erosion and the whole geological activity of water.

In the USSR river drifts are studied very thoroughly because the information acquired is used in some branches of national economy.

2. The study of the river drifts is made at hydrological stations. The observations of the run-off of the drifts permit to give some general characteristics for the rivers in the USSR, e. g. to determine regions of an average annual run-off of suspended drifts, the distribution regions of a run-off of suspended drifts during the year, to establish the main features of quantity of the suspended drifts etc.

3. The regional division of an average annual run-off of drifts is illustrated on two maps showing the distribution of an average perennial turbidity of rivers and an average modulus of the run-off of suspended drifts.

The first map shows an influence exerted by a complex of natural conditions upon the effect of erosion for one unit of a water run-off. River turbidity in the USSR is increasing from the North southwards. Zones of the highest turbidity (2,500-5,000 gr per  $m^3$  and more) are located in the Caucasus and Central Asia, in the basins of the rivers Kalas, Terek, Sulak, Samur, Tedjen, Vaksh and some others.

The basic natural factors of water erosion are: climatic, soil, geological and orographical conditions of the given locality. The activity of Man in a field cultivation and in control of the surface run-off is of great importance here.

The second map illustrates a transit part of water erosion products within a vast territory regarded as a unit of the watershed area. The map shows zones of the modulus from 5 to 500-2,500 tons per  $km^2$ . Both maps can be used, for instance, to roughly estimate a drift run-off in scarcely investigated rivers by multiplying either an average turbidity (from the first map) and a corresponding water run-off, or the modulus of a drift run-off (from the second map) and a watershed area.

4. The division into distribution regions of a suspended drift run-off for the year is made according to drift run-off for the points where it is computed for no less than three years. The main factor in the division is a different ratio of spring and summer share of the annual drift run-off.

5. A regimen of the quantity of the suspended drifts also depends on the character of natural conditions of a watershed. A relation between run-off parts of drifts of different origin: basin and bed, is of great importance; the first is more shallow, the second — larger. The above mentioned river types have different ratios of turbidity and relative contents of large drifts during high-floods.

6. A quantitative characteristics of erosion activity of a slope run-off can be obtained, say, from observation data on a drift run-off of small rivers, turbidity in which often considerably differs from that of middle-size and large rivers in the same region. In view of the insufficient study of small rivers it is proposed to apply a method of determining their turbidity; it is based on the introduction of correction coefficients to turbidity of a corresponding zone determined from a map of average annual turbidity of rivers in the USSR.

7. Despite a vast territory of the USSR and a comparative variety of its physical and geographical conditions, a complete picture of water erosion and associated quantity of a drift run-off depending on natural conditions, can be obtained only by the analysis of respective data on rivers in other countries of the world. In this respect it is interesting to mention the regions with strong erosion e. g. a loess part of the Huanke River watershed where an average annual turbidity of some rivers, tributaries of the Huanke River, reaches 100-150  $kg/m^3$  and the modulus of suspended drift run-off 5,000-6,000 tons/ $km^2$ . Similar processes on watersheds of the rivers are interesting: Colorado (USA), Tiger and Euphrates and some others. A rather large forest part of the USSR reduces water erosion and a run-off of its rivers drifts. To get a reliable comparison of data on a run-off of its rivers drifts. To get a reliable comparison of data on a run-off of drifts, it is desirable to make all investigation methods uniform.



1. — Поверхностные воды во время своего движения по земной поверхности совершают большую работу по размыву и смыву горных пород и почв и по перемещению продуктов этой работы в виде наносов и растворенных веществ в более пониженные участки поверхности земли с частичным выносом их в моря и океаны. Этот вид работы стока воды определяет характер и интенсивность процесса водной эрозии, т.е. степень воздействия стока воды на кору выветривания земли и размер стока наносов.

Сток наносов (взвешенных и влекомых) формируется за счет продуктов физического выветривания, смываемых со склонов водосборного бассейна, а также за счет продуктов размыва русел водотоков, составляющих данную речную систему (правильнее гидрографическую сеть). Химические растворенные вещества поступают в состав руслового стока как за счет растворенных веществ, выносимых грунтовыми водами, так и за счет веществ, образующихся в результате растворения наносов во время их перемещения по склонам местности и в руслах рек.

Сравнительно небольшая часть всего количества перемещенных поверхностным стоком продуктов водной эрозии переносится на большие расстояния. Большая же часть задерживается в пути неровностями рельефа и растительностью, заполняя постепенно отрицательные формы рельефа и образуя делювиальные и пролювиальные отложения у подножия возвышенностей и гор.

Процессы водной эрозии уже давно привлекают к себе в СССР большое внимание, так как они в сильной степени влияют на различные стороны практической деятельности человека. Эрозия разрушает и обедняет культурные земли, созданные трудом многих поколений людей, поэтому борьба с этим бедствием является одной из актуальных задач почвоведов, агрономов, географов и других специалистов.

Эрозия является источником формирования стока наносов, размер и режим которого существенно влияют на многие весьма важные в практическом отношении процессы, например: заиление озер, водохранилищ и каналов, образование дельт и перекатов, засорение водоприемников и др. Особо следует отметить губительные по своим последствиям селевые явления в горных районах.

В результате эрозии и стока наносов происходит перестройка рельефа поверхности земли и, в связи с этим, нарушение существующего распределения нагрузок в отдельных частях земной коры. Данные о стоке наносов и их аккумулятивных образованиях могут способствовать выяснению вопросов о возрасте горных массивов, озер, аллювиальных равнин, речных бассейнов и о их дальнейшей судьбе.

Продукты эрозии, попадая в виде наносов и растворенных веществ в реки, озера и моря, становятся в некоторой своей части пищей для растительного и животного мира этих водоемов; в ряде же случаев при большом стоке наносов условия развития организмов в водоемах могут значительно ухудшаться.

2. — Изучение стока наносов проводится в СССР на гидрологических станциях, входящих преимущественно в систему Главного Управления Гидролого-метеорологической Службы СССР, а также, в некоторой части, и в другие ведомства. Число пунктов (гидрологических станций) по которым имеются данные о годовом стоке наносов, достигло в 1952 г. 1015. Из них гидрологических станций с продолжительностью наблюдений от 5 и больше лет насчитывается 424. Результаты подсчетов стока воды и наносов по материалам наблюдений на этих станциях публикуются в «Гидрологических Ежегодниках». Там же публикуются и данные определений крупности (гранулометрического состава) взятых на станциях проб. взвешенных и влекомых наносов и отложений в руслах рек.

Полученные в результате наблюдений на гидрологических станциях материалы позволяют дать некоторые обобщающие характеристики по стоку наносов для рек СССР. К числу таковых относятся: районирование среднего годового стока взвешенных наносов, районирование внутригодового изменения стока взвешенных наносов, установление основных особенностей режима крупности взвешенных наносов и др. Кроме того те же материалы по речным наносам позволяют несколько уточнить количественную характеристику стока наносов малых рек в зависимости от природных условий и площади водосбора.

Некоторые результаты перечисленных проработок и обобщений приводятся в настоящем докладе.

3. — Районирование среднего годового стока наносов рек СССР выполнено путем построения двух карт: распределения средней многолетней мутности рек и распределения среднего модуля стока взвешенных наносов.

Первая карта дает представление о влиянии комплекса природных условий на эффективность эрозионной и транспортирующей работы единицы объема стока воды. Являясь результатом эрозионного воздействия стока воды на поверхность водосборного бассейна, мутность рек в значительной степени обуславливается совокупным влиянием многих элементов географического ландшафта (климата и стока воды, растительности и почвы, литологии горных пород и рельефа местности и т.п.). В связи с этим мутность рек должна считаться, в свою очередь, одним из элементов географического ландшафта и поэтому может быть рассмотрена с точки зрения закономерности ее изменения по территории.

Ввиду значительной изменчивости средней мутности какой-либо реки за отдельные годы, при построении карты распределения учитывалась средняя мутность за многолетие, вычисляемая путем приведения к норме стока воды. Среднемноголетние мутности относились при нанесении их на карту к центрам тяжести соответствующих водосборных бассейнов.

Изменение средней мутности рек по территории СССР изображается на карте в виде нескольких зон, каждая из которых ограничивается определенными величинами мутности. Было выделено восемь зон со следующими значениями средней годовой мутности: < 20, 20-50, 50-100, 100-250, 250-500, 500-1000, 1000-2500 и 2500-5000 (в г/м<sup>3</sup>). (Рис. 1). (Рис. 2).

При выделении этих зон принимались во внимание, главным образом, данные о мутности рек с сравнительно небольшими площадями водосборов (преимущественно до 60000 кв. км), так как мутность таких рек в большей степени соответствует природным условиям своего водосбора. Значения же мутности рек с большими площадями водосборов использовались в основном для контроля правильности проведения границ зон мутности.

Зоны мутности существенно отличаются от изолиний в том отношении, что допускают возможность значительных колебаний средней мутности отдельных рек внутри выделенных зон в зависимости от особенностей местных природных условий. В связи с этим выделенные зоны мутности дают представление лишь о величине средней мутности рек, находящихся в средних природных условиях, свойственных данной зоне. Вследствие сказанного, интерполяция мутности рек в пределах отдельных зон, аналогично интерполяции модуля стока по его изолиниям, принципиально невозможна.

Определение мутности какой-либо реки по карте зон мутности производится следующим образом. Если водосборная площадь рассматриваемой реки находится полностью в пределах одной зоны, то искомая величина мутности принимается равной полусумме значений пограничных мутностей данной зоны. В тех же случаях, когда водосборная площадь рассматриваемой реки расположена в двух или нескольких зонах, для каждой части площади водосбора, лежащей в пределах одной зоны, мутность принимается равной (так же, как и в предыдущем случае) полусумме значений пограничных мутностей, а для всего водосбора в целом средняя мутность вычисляется по принципу средней взвешенной величины. Определение мутности по карте зон мутности возможно только для средних и больших рек; для равнинных областей нашей страны повидимому для рек с водосборной площадью не меньше 5000 кв. км. Дело в том, что природные условия водосборных бассейнов средних и больших рек, будучи несколько различными в отдельных частях этих бассейнов (например, в отношении почвы, рельефа, растительности и т.п.), в итоге осредняются и создают сток наносов такого размера, который свойственен данной зоне. Для малых же рек той же зоны природные условия небольших по площади водосборных бассейнов могут значительно отличаться даже для сравнительно близко расположенных друг к другу рек, в связи с чем мутность их будет также значительно отличаться между собой, отклоняясь в ту или другую сторону от средней мутности зоны.

Распределение средней мутности рек по территории СССР имеет следующие особенности:

а) Мутность рек почти повсеместно увеличивается по направлению с севера на юг. На севере, в пределах равнинных частей страны, широкой полосой



располагается зона с мутностью  $< 20 \text{ г/м}^3$ , южнее в последовательном порядке располагаются зоны: 20-50, 50-100 и 100-250 ( $\text{г/м}^3$ ). Зона с мутностью 250-500  $\text{г/м}^3$  в пределах равнинных частей страны располагается пятнами. Наибольшее распространение эта зона получает в нижней и средней частях бассейна р. Дона, в нижней части бассейна р. Волги (от устья р. Камы до г. Сталинграда), в средней и верхней частях бассейна р. Урала. Зоны мутности больше 500  $\text{г/м}^3$  расположены только в горных областях, где большая крутизна склонов способствует увеличению скоростей течения воды и следовательно развитию эрозионных процессов. Некоторым исключением в этом отношении является р. Калаус (мутность в пределах 2500-5000  $\text{г/м}^3$ ), причиной чего следует считать специфические свойства горных пород и почв этого бассейна.

б) Расположение зон мутности в горных областях не имеет столь определенной закономерности как в равнинных. Каждая из крупных горных областей имеет свою, отличную от других, систему распределения мутности, обусловленную особенностями геологического и орографического строения и климатическими условиями.

в) Расположение зон мутности в пределах равнинных частей нашей страны в значительной степени соответствует расположению зон растительного покрова. Так, южная граница зоны 20-50  $\text{г/м}^3$  вообще хорошо совпадает с южной границей зоны смешанного леса (к западу от Урала) и зоны тайги (к востоку от Урала). Зона мутности 50-100  $\text{г/м}^3$  в пределах тех же равнинных частей страны достаточно хорошо соответствует зоне лесостепи, а зона мутности 100-250  $\text{г/м}^3$  — степной зоне.

В этом явлении постепенного увеличения мутности рек с уменьшением мощности растительного покрова отчетливо проявляется роль растительности в защите поверхности земли от эрозионного воздействия поверхностного стока.

г) Достаточно отчетливо выражено обратное распределение зон мутности и изолиний модуля среднего стока воды, который уменьшается в равнинных частях нашей страны от севера к югу. Это обстоятельство объясняется тем, что с уменьшением модуля стока, характеризующего в значительной степени состояние обводненности территории, ухудшаются условия развития растительности и следовательно ослабляется ее защитная противозэрозионная роль.

д) Большое влияние на развитие процесса водной эрозии, а следовательно и на величину мутности рек, оказывает деятельность человека по освоению территории, особенно в сельскохозяйственном отношении. Массовое уничтожение естественного растительного покрова, распашка земель на огромных площадях, разрыхление поверхностного слоя почвы выпасом скота, а также и другие виды деятельности в области сельского хозяйства, способствуют развитию процесса водной эрозии и, следовательно, сопровождаются увеличением мутности рек. В связи с этим, такие сельскохозяйственные районы, как Центрально-Черноземные области, Уфимско-Вятский, Барнауло-Новосибирский и другие, имеют более значительную мутность рек нежели смежные с ними. Уменьшение эрозионной работы поверхностного стока в условиях интенсивного сельскохозяйственного освоения территории может быть достигнуто путем осуществления комплекса противозэрозионных мероприятий на соответствующих водосборных площадях земли. Следует при этом заметить, что влияние сельскохозяйственной деятельности проявляется в особенно ощутительной степени преимущественно в условиях значительной крутизны склонов местности и малой увлажненности территории. При незначительной крутизне склонов и достаточной увлажненности, природа сама по себе, т.е. без помощи человека, в большинстве случаев способна создать на пути поверхностного стока защитные барьеры в виде лесных, кустарниковых и травяных полос и участков, задерживающих и колющих продукты водной эрозии.

е) На величину мутности и на режим стока наносов существенное влияние оказывает оледенение в горных частях бассейнов рек. Находящиеся в верховьях рек ледники производят большую эрозионную работу, в результате которой талые воды выносят из района ледника большое количество измельченных частиц горных пород, увеличивающих сток наносов и мутность рек. В пределах СССР горное оледенение, наиболее важное для формирования стока наносов, развито в большей степени на Кавказе, в Средней Азии и на Алтае и в меньшей степени на Саянах, Камчатке, Урале и северо-востоке Сибири (в Верхоянско-Калымской горной стране).

ж) Особое место среди природных условий, оказывающих влияние на величину и режим стока наносов, а следовательно и на мутность рек, занимают селевые паводки, т.е. большие паводки на горных реках, проносящие исключительно большое количество наносов. По существу селевые паводки являются максимальными расходами наносов, т.к. факторы их образования совершенно аналогичны факторам образования стока наносов. Выносы твердых веществ селевыми паводками значительно превышают обычный сток наносов и следовательно должны соответственно отразиться и на увеличении среднегодовой мутности реки. К сожалению количественные характеристики селевых выносов получены до настоящего времени лишь для очень ограниченного числа случаев.

з) Обращает внимание значительная мутность, до  $200 \text{ г/м}^3$  и больше, в бассейнах рек Яны и Индигирки, хотя рекам этой широты ( $62^\circ\text{--}68^\circ \text{ с.ш.}$ ) обычно свойственна значительно меньшая мутность. Причиной этого явления следует считать: большую крутизну склонов этой горной страны, сравнительно слабую увлажненность территории и, в связи с этим, недостаточно мощный растительный покров, быстрое формирование дождевых паводков, приобретающих весьма бурный и стремительный характер, а также и наличие в горных породах ледяных прослоек, протаивающих в теплое время года и облегчающих вследствие этого разрушение берегов и смыв поверхности водосбора дождевым склоновым стоком.

Второй картой районирования среднего годового стока наносов рек СССР является карта распределения среднего модуля стока взвешенных наносов.

Модулем стока взвешенных наносов, по аналогии со стоком воды, называется величина, получаемая от деления среднего годового стока взвешенных наносов на площадь водосбора реки. Так как эта величина характеризует количество взвешенных веществ, выносимых рекой за год с единицы площади водосбора, то величины модуля стока взвешенных наносов различных рек могут быть сравниваемы друг с другом независимо от размера реки.

Модуль стока взвешенных наносов ( $M$  — в  $\text{т/кв.км}$ ) может быть выражен через модуль стока воды ( $m$  — в  $\text{л/сек с 1 кв.км}$ ) и мутность ( $\rho_{\text{ср}}$  в  $\text{г/м}^3$ ) следующим образом:  $M = 31,5 \cdot 10^3 \cdot m \cdot \rho_{\text{ср}}$ . Следовательно модуль стока взвешенных наносов увеличивается с увеличением как модуля стока воды, так и мутности реки. Вычисление модуля стока взвешенных наносов производилось для отдельных частей водосборных бассейнов всех крупных рек СССР, применяя при этом метод баланса с постоянным сопоставлением получаемых величин модуля стока и средней мутности реки с имеющимися данными непосредственных измерений в полевых условиях. Величины модуля стока взвешенных наносов рек СССР изменяются в зависимости от природных условий в очень больших пределах: от 1-2 для северных лесистых районов до  $2000 \text{ т/км}^2$  и больше для некоторых горных рек (Самур, Вахш). В целях более удобного нанесения на карту (рис. 2), величины модуля стока наносов подразделены на следующие группы: 1-ая меньше 5, 2-ая от 5 до 20, 3-ая от 20 до 100, 4-ая — от 100 до 500 и 5-ая от 500 до 2500 (в  $\text{т/км}^2$ ).

Такого рода группировка, являясь первой предварительной попыткой районирования величин модуля стока наносов в последующем должна быть уточнена.

Таким образом карта модуля стока взвешенных наносов дает представление о размере транзитной части продуктов водной эрозии в пределах больших территорий, отнесенной к единице площади водосбора.

В пределах СССР наблюдаются все пять перечисленных выше групп модуля стока взвешенных наносов, при чем две последних группы, соответствующие модулю, превышающему  $100 \text{ т/кв.км.}$ , расположены только на Кавказе и в горной области Средней Азии.

При рассмотрении карты модуля стока взвешенных наносов рек СССР выявляется ряд особенностей его распределения, из которых отметим лишь некоторые.

а) Как и следовало ожидать, модуль стока наносов увеличивается, по сравнению со смежными районами, в областях с большим количеством осадков, а следовательно (что обычно соответствует) и с большим модулем стока воды. Такими областями являются, в частности, те склоны горных хребтов, которые перехватывают большую часть атмосферной влаги, по сравнению со склонами другой экспозиции или менее высокими.

б) Увеличение модуля стока наносов наблюдается также и в областях с повышенной мутностью воды. По этой причине модуль стока наносов имеет большее значение по сравнению со смежными районами в таких областях, как: верховье р. Оки, южное предгорье Уральского хребта, водосборный бассейн р. Вятки, восточная часть северного склона Большого Кавказского хребта (бассейны рек Терека, Сулака, Самура и др.), бассейн р. Вахша и др. Весьма показательным в этом отношении является северный склон Большого Кавказского хребта, в западной части которого модуль стока наносов меньше, нежели в восточной части, несмотря на значительно большую величину там модуля стока воды.

4. — В основу районирования типов внутригодового изменения стока взвешенных наносов положен признак различного соотношения весенней и летней доли годового стока наносов, составляющих в большинстве случаев главную массу взвешенных наносов. Анализ нанесенных на карту указанных сезонных величин стока наносов (в процентах от годового стока) позволил выделить несколько зон, характеризующихся следующими их соотношениями. На европейской территории СССР почти повсеместно большая часть взвешенных наносов приносится реками в период весеннего половодья. На севере этой территории на весенний сезон обычно приходится около 70-75% годового стока. Значительно большая равномерность во внутригодовом распределении стока наносов наблюдается на реках северо-запада с зарегулированным многочисленными озерами стоком воды. Южнее, т.е. в центральных областях европейской территории СССР, доля весеннего стока наносов увеличивается, составляя уже 75-85% от годовой величины. Такой же относительный размер имеет весенний сток наносов в западной части европейской территории нашей страны (рр. Западная Авина, Днепр и др.). Разница между распределением стока наносов на западных и на восточных реках (например, рр. Вятка, Чусовая, Белая и др.) заключается в том, что для западных рек на втором месте после весеннего по величине стока наносов, благодаря климатическим условиям, стоит зимний период, а для восточных — летний период.

Еще большей концентрации достигает сток взвешенных наносов в Центрально-Черноземных областях на юго-востоке европейской территории СССР. Здесь весенняя доля стока наносов составляет уже 90%, и более годового стока, доходя в Заволжье и южном Зауралье (напр., рр. Бузулук, Ирғиз, Б. Караман, Илек и др.) до 99 и 100%.

Иное соотношение сезонных частей стока наносов наблюдается в южных областях, прилегающих к побережью Черного и Азовского морей и к предгорьям Кавказа. Здесь имеет место значительное увеличение или зимней доли стока наносов, доходящее у рр. Ингул, Учан-Су и др. до 35-60%, или же летней его доли, доходящей у рр. Калаус, Кума и др. до 40-45%.

Для Кавказа с его сложным горным рельефом и весьма разнообразными климатическими и почвенно-геологическими условиями характерно и большее разнообразие типов сезонного стока. Высокогорная область Большого Кавказского хребта характеризуется малым весенним стоком взвешенных наносов (меньше 15%) и большим летним (около 80%). Восточная часть северного склона хребта характеризуется несколько большим весенним стоком (15-25%) и несколько меньшим летним стоком (около 60-70%). На западной же части этого хребта весенний сток наносов увеличивается уже до 30-55% при соответствующем уменьшении летнего стока (до 10-50%). Вместе с тем в этой части хребта наблюдается значительное увеличение осеннего и зимнего стока наносов, достигающего в сумме 10-60%. Разница в сезонном изменении стока в пределах Б. Кавказского хребта объясняется главным образом климатическим фактором.

В Закавказье наблюдается значительно большее разнообразие типов сезонного изменения стока наносов. Можно отметить, что весенний сток наносов рек Закавказья составляет преимущественно 45-80%, а летний сток 15-45% от годового. В отдельных районах, например на северо-западе значительно увеличивается осенний сток, достигая 30%.

Азиатская территория СССР изучена в отношении внутригодового изменения стока наносов еще недостаточно. Можно только отметить, что большая часть Азиатской территории, начиная от средней и северной частей бассейна р. Оби, бассейна р. Енисея и далее на восток, характеризуется большим размером летнего стока взвешенных наносов по сравнению с весенним стоком. Часть же Азиатской территории, расположенная на юго-западе (южная часть бассейна



р. Оби и реки Центрального Казахстана) характеризуется большим размером весеннего стока наносов.

Сток взвешенных наносов горных областей Средней Азии изучен довольно основательно. Однако выделение здесь зон с характерными чертами внутригодового распределения взвешенных наносов оказалось затруднительным, т.к. природные условия этого края весьма разнообразны и режим стока наносов значительно изменяется даже на сравнительно близких друг от друга участках. Можно только отметить, что на большой высоте наблюдается превышение летнего стока наносов над весенним, а в некоторых районах предгорий весенний сток больше летнего.

Выделение зон сезонного изменения стока наносов основывалось нами главным образом на материалах исследований малых и средних рек, т.к. чем меньше площадь бассейна реки, тем режим стока воды и наносов такой реки в большей степени обуславливается местными природными условиями.

Сезоны года включали следующие месяцы: зимний — с декабря по февраль, весенний — с марта по май, летний — с июня по август и осенний — с сентября по ноябрь.

Расположение выделенных зон по территории СССР показывает, что степень концентрации стока наносов в некоторые сезоны года зависит не только от концентрации стока воды, но и от степени увлажненности территории и от ее освоенности в сельскохозяйственном отношении.

5. — Основные черты режима крупности взвешенных наносов обуславливаются также особенностями природных условий водосбора. Большое значение имеет при этом соотношение между частями стока наносов различного происхождения: бассейнового и руслового; первая часть обычно бывает более мелкая, вторая же более крупная.

Характер изменения крупности взвешенных наносов внутри года связан с сезонными изменениями режима реки, т.е. с режимом питания реки водой и наносами.

Особенный интерес для данного вопроса представляют периоды паводков, так как в эти периоды реками проносится наибольшее, а зачастую и подавляющее количество наносов.

Анализ материалов натурных наблюдений в СССР над данным явлением позволяет выделить два основных типа рек:

а) Реки равнинные с небольшой мутностью в паводки. Для этих рек характерно некоторое увеличение крупности взвешенных наносов на пике паводка, что связано с более интенсивным перемещением крупных частиц в русло реки в этот период времени по сравнению с количеством мелких частиц, поступающих в русло реки с бассейна (рр. Волга, Кама, Днепр и др.).

б) Реки горные с большой мутностью в паводки. Для этих рек характерно уменьшение крупности взвешенных наносов с увеличением расхода воды, что объясняется более интенсивным поступлением во время паводка в русло реки мелких частиц с водосбора по сравнению с интенсивностью перемещения крупных частиц в тот же период времени (рр. Кура, Сулак, Кара-Дарья и др.).

Однако многие реки лишь частично примыкают к этим двум основным типам, т.к. природные условия их водосборов весьма сложны и разнообразны.

6. — Как уже отмечалось выше, построение карты зон мутности производилось только по материалам исследования стока наносов средних и больших рек. В связи с этим и определение мутности по данной карте возможно только для этой категории рек. Между тем практика народного хозяйства СССР очень часто нуждается в определении величин стока наносов малых рек, систематические исследования которых производятся значительно реже по сравнению со средними и большими реками.

Имеющиеся материалы по стоку наносов малых рек показывают, что мутность их в ряде случаев значительно превышает мутность той зоны, в пределах которой расположена рассматриваемая малая река. Кроме того те же материалы показывают на довольно отчетливо выраженную зависимость между соотношением мутности малой реки ( $\rho_{мр}$ ) с мутностью соответствующей зоны ( $\rho_{зон}$ ) и величиной площади водосбора малой реки ( $F_{мр}$ ), т.е.  $\rho_{мр}/\rho_{зон} = f(F_{мр})$ . Для очень малых площадей водосборов (порядка двух кв.км. и меньше) рассматриваемое соотношение приближается к 30-50; с увеличением же площади

оно уменьшается (сперва резко и значительно, а затем постепенно) достигая значения единицы при площади водосбора близкой к 2000-3000 кв. км.

Этой зависимостью (выраженной в виде кривой) пользуются в ряде случаев для приближенного установления стока наносов малых рек и временных водотоков.

Следует однако заметить, что разброс отдельных точек на этом графике довольно велик, что показывает на одновременное влияние еще и других факторов, кроме величины площади водосбора. К таким факторам несомненно относятся в первую очередь: почва, рельеф местности и растительность, влияние которых может быть учтено специальными поправочными коэффициентами, определенными путем сравнения природных условий водосбора малой реки и соответствующей зоны (или же водосбора средней реки для которой сток наносов был определен натурными наблюдениями). Описание этого метода дано автором в его опубликованном труде «Наносы рек СССР», 1952 г.

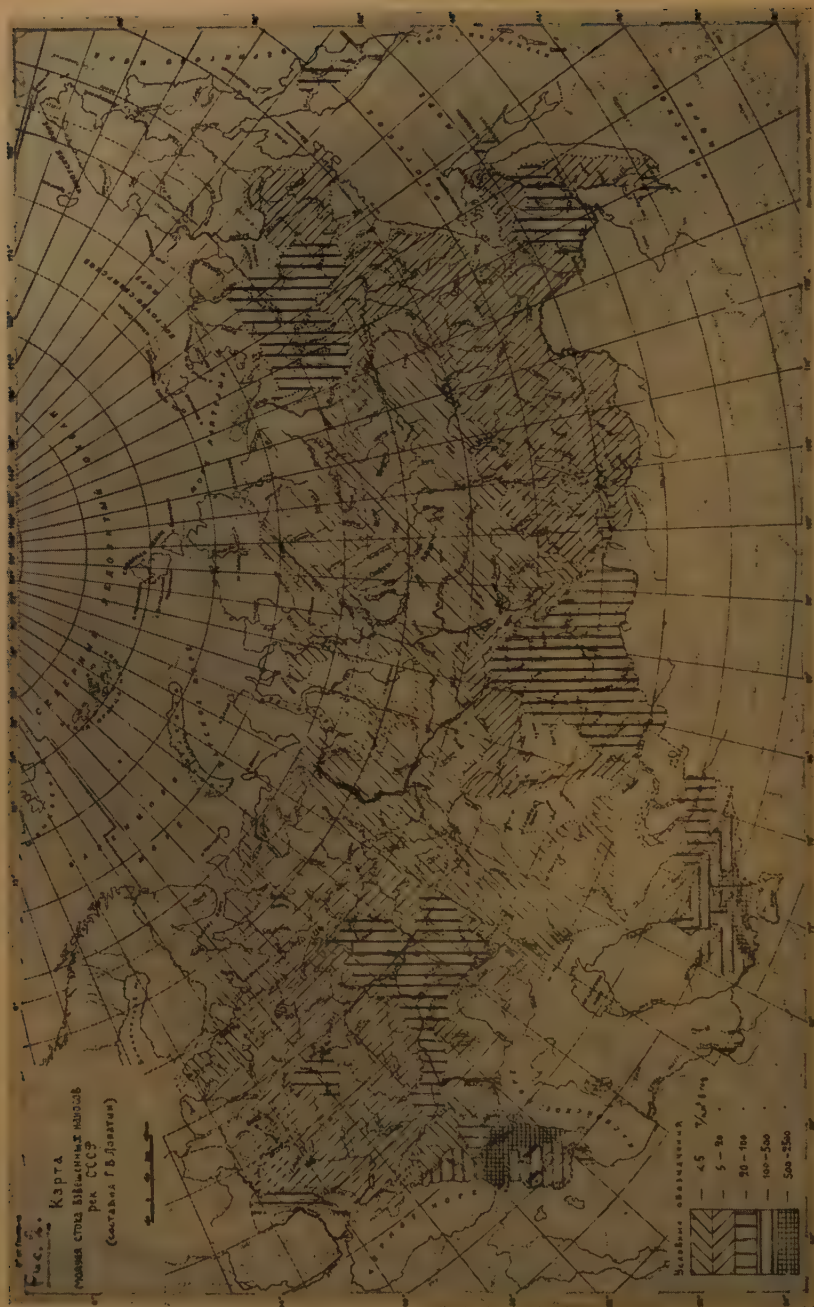
Попутно следует отметить, что данные о стоке наносов малых рек позволяют уточнить количественную характеристику эрозионной работы склонового стока воды, которая в ряде случаев, как известно, достигает очень большой величины.

7. — Несмотря на обширность территории СССР и на сравнительное разнообразие ее физико-географических особенностей, все же более полное представление о развитии водной эрозии и о связанной с ней величине стока наносов в зависимости от природных условий может быть получено только в результате анализа соответствующих материалов по рекам других стран земного шара. Весьма интересными являются в этом отношении такие сильно эродируемые области, как, например, лесовая часть водосбора р. Хуанхэ, где средняя годовая мутность некоторых рек — притоков Хуанхэ — достигает 100-150 кг/м<sup>3</sup>, а модуль стока взвешенных наносов 5000-6000 т/км<sup>2</sup>. Большой интерес представляет проявление аналогичных процессов на водосборах рек Колорадо (США), Тигра и Евфрата и ряда других. Сравнительно большая залесенность и равнинность территории СССР способствуют ослаблению водной эрозии и значительному уменьшению стока наносов ее рек. В связи с этим сток взвешенных наносов всех рек СССР, равный 472,3 млн т, составляет только около 4% от стока наносов всех рек земного шара.

8. — В заключение следует пожелать скорейшей унификации методов исследования стока наносов на всех реках мира, т.к. это облегчит и уточнит анализ получаемых результатов исследований.







# SOME ASPECTS OF EROSION IN EGYPT

Y. M. SIMAIKA B. Sc; *F. Inst. P.\**  
and H. A. SHERBINI\*\*

The presence of sediment in streams is but one phase of the erosion process. Lacking protective vegetal cover, rain-fall that was formerly absorbed by the soil, runs off the bare surface carrying with it good fertile soil often rendering it incapable of growing even grass or shrubs thus further accelerating sheet erosion and the formation of gullies.

The heavy silt load in some rivers is principally due to landslides or the high erodibility of the loessial soils. Steep hill torrents may be loaded to capacity with boulders, gravel and silt. The head streams of the Nile in Ethiopia are of this nature. In the Blue Nile there are boulders in the upper reaches and lower down pebble banks extend to north of Roseires, while on the Atbara pebbles are found for some distance north of the Setit junction. They are rounded by being rolled along the river bed and rubbed against each other and this grinding produces sand, still finer particles known as silt and finer of all, clay. The coarser sand rolls and bounces and some is carried in suspension near the bed; the finer silt and clay is carried in suspension at all depths of the stream. By the time the Nile gets down to Egypt and its velocity has been slowed down, the coarse sand is only found near the bed, the fine sand decreases rapidly in concentration from the bed upwards but the very fine silt and clay particles hardly decrease at all in concentration from bed to surface.

## ALLUVIAL DEPOSITS IN THE NILE VALLEY AND DELTA

The mud that covers the flat floor of the Nile Valley and most of the surface of the Delta and forms the arable land of Egypt has all been deposited by the flood waters of the Nile. This mud is brought from the volcanic highlands of Ethiopia by the Blue Nile and the Atbara. The uppermost part of the deposit, averaging some 9 metres in thickness and composed of very finely divided mineral matter with comparatively little admixture of sand has probably all been laid down within the last 10,000 years or so. Its deposition is still going on.

The Nile mud that covers the greater part of the floor of the Fayum depression, west of the Nile, and which forms the cultivated land of the province is exactly similar to that of the Nile Valley and Delta and like it has all been deposited in geologically recent times. The Nile mud was deposited for the most part in the form of a lake delta spreading out fan-wise from the point where the Nile water entered the depression.

## ALLUVIAL DEPOSITS IN THE DRAINAGE CHANNELS OF THE EASTERN DESERT

The floors of the wadis or dry valleys from the Eastern desert to the Nile are composed of alluvial material derived from the denudation of the Red Sea mountain ranges. Near the heads of the wadis this alluvial material consists almost entirely of blocks and boulders, but lower down the blocks and boulders give place to gravels and sands. The flat floors of the lower reaches are mostly covered with alluvial

\* Formerly Under Secretary of State now Technical Adviser, Ministry of Public Works, Cairo.

\*\* Director, Hydraulic Research Station, Delta Barrage.



sand and silt but this is only a thin covering as proved by the wells sunk into the wadi floors which invariably pass at no great depths into thick accumulations of gravels and boulders.

#### DUNES OF WIND-BORNE SAND

In contradistinction to the deserts on the Eastern side of the Nile and the Sinai Peninsula, the Western or Libyan desert is traversed by remarkably few distinct drainage channels, a fact which clearly indicates that to the west of the Nile Valley arid conditions must have prevailed for many thousands of years.

There are, however, a few valleys draining eastwards into the Nile Valley and northwards to the Mediterranean coast, as well as others, likewise of no very considerable length draining centrally into the various oasis depressions and in and around some of these, there occur deposits of alluvial gravels and silts left by streams that flowed in the past showing that there must have been some period or periods in which the aridity of the climate was less marked than is at present.

Quite considerable proportions of the surface of the Libyan desert and the northern part of the Sinai Peninsula are covered by accumulation of drifted sand. In the northern and central parts of the Libyan Desert these sand accumulations typically take the form of long lines of dunes, frequently 30 metres or more in height, lying along the direction of the prevalent North North West wind and continuing without a break for very long distances in some cases, indeed, for hundreds of kilometres. In the more southerly parts of the Libyan Desert the drifted sand mostly forms flats or gently undulating plains.

In Northern Sinai large tracts bordering the Mediterranean are occupied by dunes as high as those of the Libyan Desert but showing a less orderly arrangement and frequently containing hollows in which there are wells and palm groves.

Thus in the mountainous regions of the Eastern Desert and Sinai the chief erosive agencies were doubtless rain and streams, while most of the final sculpturing of the Western Desert appears to have been accomplished by the erosive action of sand laden winds.

#### THE SILT LOAD OF THE NILE

The first attempt to measure the silt load of the Nile was made some 40 years ago. Systematic collection of samples to determine the quantity of silt in suspension were taken by the Physical Department and later by The Nile Control Department almost uninterruptedly since 1929.

Mechanical analyses to determine the quality of silt were also made. The observations were taken at Wadi Halfa, at the tail of the Aswan Reservoir, about 360 kilometres above the dam, and at Gaafra some 30 kilometres below the dam.

In the Nile at Wadi Halfa where it enters Egypt, the concentration in a good flood, may average 4000 parts per million by weight for a few days and for the whole flood about 1600 parts per million. This is much less than that carried by many rivers like the Colorado, the North China rivers and the Kosi.

The average total quantity of suspended matter in the Nile that enters Egypt annually at Wadi Halfa is about 110 million tons.

#### SIZE OF THE SUSPENDED PARTICLES

The suspended matter of the Nile consists essentially of mineral substances in a very fine state of division, the largest particle seldom exceeding one fifth of a millimetre in diameter.

The proportions in which particles of different sizes are present, are classified by mechanical analysis into:

- Coarse Sand: which consists of particles which do not pass through a sieve of 0,2 millimetres mesh
- Fine Sand: which is defined as the suspended solid which falls more than 10 centimetres in still water at 20 °C in less than 4 minutes 48 seconds. The approximate diameter of the particles, on the assumption that they are spherical, is greater than 0,02 mm.
- Silt: falls 10 centimetres in less than 8 hours. The size of the particles is approximately 0,02 to 0,002 mm.
- Clay: takes longer than 8 hours to fall 10 centimetres and the size of the particles is less than 0,002 mm.

*Suspended solids carried past Wadi Halfa and distribution of sand silt and clay.  
Average for period 1929-1954 (10-day means)*

		Concentration in Parts/million by weight	Percentage		
			Sand	Silt	Clay
July	11-20	360			
	21-31	840			
Aug.	1-10	2040	15	40	45
	11-20	3250	22	45	33
	21-31	3450	25	45	30
Sep.	1-10	2880	31	41	28
	11-20	2290	36	40	24
	21-30	1730	41	38	21
Oct.	1-10	1210	42	34	24
	11-20	870	43	33	24
	21-31	630	45	27	28
Nov.	1-10	400			
	11-20	320			
	21-30	210			

#### PERCENTAGE OF SAND SILT AND CLAY IN THE SUSPENDED MATTER

It will be seen from the above that the percentages of silt and clay diminish whereas that of sand increases with the progress of the flood.

The average proportions for the whole suspended matter carried by the flood are roughly:

Coarse sand	none or trace
Fine sand	30%
Silt	40%
Clay	30%

#### MINERAL COMPOSITION OF THE SUSPENDED MATTER

The mineralogical characters of the larger particles of the suspended matter, i.e. those classed as sand and a considerable proportion of those classed as silt



in the mechanical analyses, are readily determinable by microscopic examination, which shows them to consist essentially of angular crystalline fragments of quartz, felspar, hornblende, augite, mica, sphene, magnetite, ilmenite and other minerals obviously derived from the disintegration of igneous and metamorphic rocks, together with a sprinkling of granules of hydrated ferric oxide and occasional fragments of limestone. The nature of the more finely divided portion of the suspended matter is, however, very difficult to make out with the microscope, owing to the minuteness of the particles composing it. Chemical analyses shows that some 34% by weight of the particles classed as clay and some 10% of those classed as silt consist of Kaolin, while the remainder in each case consists essentially of minerals of the same kinds as form the larger particles.

Kaolin is, of course, a common decomposition product of the weathering of felspathic rocks and we therefore conclude that practically the whole of the suspended matter brought down by the Nile is derived from the disintegration, under weathering influences of igneous and metamorphic rocks in the Volcanic highlands of Ethiopia.

#### THE MATTER IN SOLUTION IN THE NILE

Besides the matter carried in suspension, the Nile transports an amount of solid matter in solution. This amount is greatest from April to July, but falls off in August as soon as the river begins to rise in flood and reaches a minimum in October. The variation is accounted for by the difference in salt content of the White and Blue Niles and the varying proportions of their contributions to the main Nile. Thus when the proportion of the White Nile water is high, from April to July, the salt content is at its maximum, while when the greater proportion comes from the Blue Nile it is at its minimum.

*Average proportions of various substances contained in the Nile at Cairo 1906-1936.*

	Per cent of the dissolved matter		Parts/million in solution in the water	
	Flood-months (Aug.-Nov.)	Remainder of the year	Flood-months total Solids 138	Remainder of the year Total solids 191
Carbonate of calcium	21.8	22.5	30.1	43.0
Carbonate of magnesium	12.4	10.8	17.1	20.6
Carbonate of sodium	13.8	17.6	19.0	33.6
Carbonate of potassium	4.8	4.1	6.6	9.8
Chloride of sodium	6.1	14.1	8.4	26.9
Sulphate of magnesium	7.0	7.3	9.7	13.9
Nitrate of calcium	1.5	0.2	2.1	0.4
Phosphate of calcium	0.5	0.3	0.7	0.6
Silicate of calcium	16.8	12.9	23.2	24.6
Free silica	9.4	5.8	13.0	11.1
Alumina & Ferric oxide	0.4	0.3	0.5	0.6
Organic matter	1.0	0.9	1.4	1.7
Water retained in the dried residues from evaporation	4.5	2.2	6.2	4.2
	100.0	100.0	138.0	191.0

It will be seen from the above figures that the carbonates, which are carried in solution mainly as bicarbonates, form by far the most abundant class of mineral substances dissolved, constituting in fact some 53% of the total dissolved solids during the flood months and some 56% during the remainder of the year. Calcium carbonate alone forms on the average some 22 %, Magnesium carbonate some 11 to 12%, Sodium carbonate 14 to 18% and Potassium carbonate some 5% of the total dissolved solids.

The approximate average total quantities of dissolved substances annually transported by the Nile past Cairo amount to about 10.6 million tons of which 7 million pass during the floodmonths of August to November.

#### SILT DEPOSITION IN THE ASWAN RESERVOIR

The measurement of the suspended matter in the Nile was started in connexion with the questions of how early it was possible to begin filling the Aswan reservoir after the crest of the flood and the maximum quantity of suspended silt had passed and how much deposition was caused when the reservoir was partially filled to reduce the crest of the flood.

In 1946, 1954 and to a minor extent in 1934 and 1938 the reservoir was used as an emergency flood escape thus averting an imminent disaster. By comparison of the suspended sediment discharge at Wadi Halfa, at the tail of the reservoir, and at Gaafra, below the dam, any deposition of silt in the reservoir can be estimated. But as these determinations deal only with the suspended matter and do not take any account of the bed load, it was decided to combine the silt investigations with careful hydrographic surveys of the reservoir. The results of the two methods are in good agreement and give highly consistent results. So far there has been no silt deposit of any importance, the total deposit being about 250 million cubic metres or about 5% of the total capacity of the reservoir.

#### SEDIMENT EXCLUDERS

In order to command the areas to be irrigated, canals have to be designed with slopes flatter than those of the rivers from which they take off, and the volume of flow in a canal is usually much less than that in the river from which it takes off, particularly during the flood season. This sudden reduction in the discharge and slope of flow in the canals is the main cause which leads to silting.

In Egypt, all the canals carry silt in flood and large amounts of sediment are deposited in them, the annual cost of clearing being something like L.E. 750,000 for canals and L.E. 400,000 for drains. \*

The velocity that is practicable for an irrigation canal in alluvium will generally be able to carry in suspension and ultimately into the field most of the finer or colloidal particles of sediment. Sediment excluders, for the purpose of reducing the amount of coarser matter entering the channel, have been constructed at the heads of several of the heavy silting canals. These devices are designed to draw off the water from top layer of the main stream thus allowing only the fine sediment to enter the

\* From observations on a number of Egyptian canals an empirical expression for the critical velocity  $V$  (non silting and non scouring) in metres per second, was found by Hassib Defrawy as :

$$V = 0.13 + 0.17$$

This has lately been applied with some success in several canals and will be the subject of a separate paper by Mr. Defrawy.

canal. They have proved a success in many canals, like Abou-el-Akhdar, Kelabia, Bahr Tira etc.

#### DEGRADATION DOWNSTREAM BARRAGES AND DAMS

As the velocity of flow is retarded upstream a barrage or weir, sediment particularly the coarser particles, will tend to deposit and the flood flow passing down the barrage will be partly relieved of its load. It will then possess excessive energy to degrade the river bed downstream of the barrage and will pick up as much solid material as it can carry. The lowering of the bed level occurs firstly near the dam and gradually extends downstream to a point where the stream has picked up a capacity load as determined by the prevailing slope and the discharge of the regulated flow through the barrage.

This phenomenon was observed on many rivers and in the Nile was observed at several barrages like Sennar, Nag Hamadi and Assiut.

At Nag Hamadi Barrage for example, which was constructed in 1930, the degradation up to 1945, of the river bed downstream the barrage amounted to about 80 centimetres.

The potential degradation of the Nile bed north of Aswan due to the interception of silt in the proposed «High level Aswan Dam» has been the subject of discussion lately. The reservoir will have a total capacity of 130 milliards, of which 70 are allotted for live storage, 30 for flood protection and 30 for a silt trap and it has been pointed out that owing to the large size of the reservoir, most of the silt brought by the Nile every year during the flood would be deposited in the reservoir basin and that as a result of the passage of the water below the dam, without its normal silt load, the river bed north of Aswan would be subjected to progressive degradation.

In order to fully investigate this question and to supplement the mass of information collected on the suspended matter in the Nile in the 40 years, a program of field investigations has been laid out. It is specifically directed at getting a more comprehensive understanding of degradation processes in the Nile river channel. This will ensure proper design and construction of remedial measures in due time before harmful effects can take place.

The investigations consist in making a thorough study of the rivers's sediment and hydraulic characteristics.

The degradation below the dam will depend upon the nature of the river bed. If bed material is deep and uniform in size the bed may be lowered to a big extent. If the bed material is composed of various sizes, a condition generally met with in many rivers, the clear water released from the dam removes the finer material and leaves a sort of paving on the bed which reduces the rate of degradation.

To find the nature of the bed material, a group of 16 holes in the river bed (4 in the upstream and 12 in the downstream) are drilled in the vicinity of each of the three barrages at Esna, Nag Hamadi and Assiut. The bore holes are drilled to reach a layer of coarse sand with a medium diameter of 0.5 to 1.0 mm. Samples are taken every metre in depth and numerous cross sections of the river at critical locations are periodically taken as well as sediment samples at each side will be mechanically analysed. Besides echo sounders, bed material samplers and visual accumulation tubes and other modern sediment analysis instruments will be used. These field investigations will also be supplemented by experiments on a specially constructed flume 100 metres long  $\times$  1.5 metre wide to study the process of bed material sorting by degradation.

# MÉTHODES EMPIRIQUES DE CALCUL DES MATÉRIAUX EN SUSPENSION

WALENTY JAROCKI

## PRÉFACE

Les formules du calcul des matériaux transportés en suspension ou charriés sont généralement basées :

- a) sur des études en laboratoire,
- b) sur des mesures prises dans la nature,
- c) sur des études en laboratoire et sur des mesures prises dans la nature conjointement.

Il ne paraît pas très pertinent d'établir des formules basées exclusivement sur des examens en laboratoire, ceux-ci n'étant pas en mesure de reconstituer exactement l'évolution effective du phénomène.

Les conditions des travaux en laboratoire ne permettent pas en effet l'évaluation simultanée et correcte de l'influence des divers éléments sur le mouvement des matériaux solides.

Les laboratoires peuvent servir uniquement à l'étude purement scientifique de l'influence de ces éléments, parce qu'ils permettent d'isoler un seul élément en éliminant les autres et d'en étudier les traits essentiels. Les études en laboratoire remplissent ainsi un rôle extrêmement important en permettant de découvrir les principes du mouvement des matériaux solides. En outre, il est possible d'obtenir dans les laboratoires dans un temps considérablement plus court les résultats que le phénomène étudié provoquera dans la nature après une série d'années.

Les études en laboratoire des matériaux en suspension sont basées sur la présomption que les diamètres des particules de ces matériaux correspondent aux diamètres des particules des matériaux du fond. Cette présomption ne paraît pas conforme à la réalité, puisqu'une partie beaucoup plus considérable des matériaux en suspension provient de la surface du bassin fluvial et une partie bien moindre provient de l'érosion du fond.

Afin d'exprimer en formules la quantité des matériaux solides il est préférable de se baser sur des mesures prises directement dans la nature, sans analyser les conditions qui ont abouti aux valeurs obtenues et non à d'autres valeurs. Dans les laboratoires il est possible seulement de déterminer les éléments qui exercent la plus grande influence sur le mouvement des matériaux solides et de les prendre en considération dans les formules qui seront établies.

Il n'est possible d'établir des conclusions relatives à la quantité des matériaux solides que sur la base d'un grand nombre de mesures prises directement, puisqu'il a été constaté, en pratique, que dans les cas où le niveau des eaux est le même et les autres conditions apparemment semblables, la quantité des matériaux solides en mouvement peut varier très sensiblement.

## *Comparaison des mesures de matériaux en suspension*

Le Service Hydrologique polonais accomplit deux sortes de mesures des matériaux en suspension. Près de 100 stations d'observation prennent des mesures systématiquement (deux fois par semaine en moyenne) à deux endroits de la section transversale du fleuve, c'est-à-dire dans le courant et dans les bas-fonds. En outre, dans plusieurs



sections, des mesures des matériaux en suspension sont prises sur trois points de plusieurs verticales.

A certains endroits, comme à Sandomierz et à Pulawy, on a pris ces deux genres de mesures, il a donc été possible de comparer les résultats obtenus par chacun d'eux (tab. 1).

TABLE 1

*Quantités de matériaux en suspension calculées au moyen d'observations systématiques et de mesures prises dans les verticales*

Endroit	Période d'observation	Débit annuel moyen m³	Quantités de matériaux évaluées au moyen de mesures prises dans les				Relation  R <sub>1</sub> : R <sub>2</sub>
			stations (R <sub>1</sub> )		vertic. (R <sub>2</sub> )		
			kg/sec	kg/m³	kg/sec	kg/m³	
Sandomierz	1942-43 et 51-53	8 319 806 400	22,9	65,6			
	moyenne annuelle	8 480 050 800			16,5	46,0	1,4
Pulawy	1946-53	12 956 414 400	34,6	59,6			
	moyenne annuelle	13 826 638 400			25,0	41,0	1,4

Il ressort de ce tableau que les valeurs résultant du calcul des mesures systématiques prises dans les stations d'observation sont 1,4 fois plus considérables que celles qui résultent des mesures prises dans les verticales.

Il est admis que les valeurs plus importantes sont plus certaines, parce qu'elles sont les moyennes d'un plus grand nombre d'essais pris dans les stations permanentes d'observation. L'herméticité défectueuse des appareils employés pour prélever les essais parle aussi en faveur du choix de valeurs plus grandes.

D'autre part, les batomètres en usage dans notre pays ne permettent pas le prélèvement d'essais sur une profondeur de moins de 50 cm à compter du fond et la quantité des matériaux en suspension à proximité du fond est plus grande probablement que sur les autres points de la verticale.

#### *L'influence exercée par divers éléments sur la quantité des matériaux en suspension*

Avant d'établir une formule on a établi dans plusieurs sections des diagrammes indiquant la quantité des matériaux en suspension en kg/m<sup>3</sup> et en kg/sec. pour divers volumes du débit. Il ressort de ces diagrammes que les points exprimant la quantité des matériaux en suspension en kg/sec. révèlent une dispersion moins grande (fig. 1 et 2). C'est pourquoi on a retenu pour la détermination des formules les quantités en kg/sec. au lieu de celles en kg/m<sup>3</sup>.

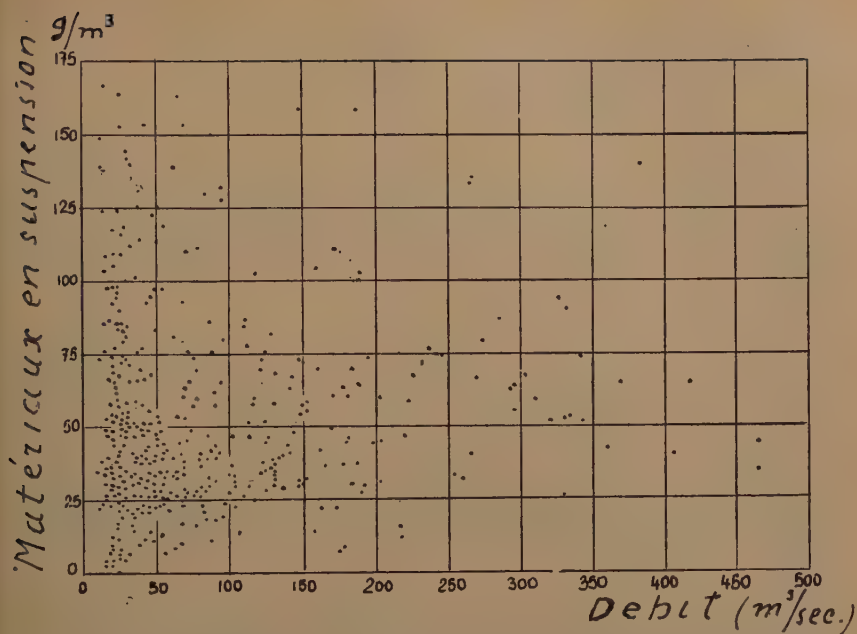


Fig. 1 — Points représentant la corrélation entre la quantité des matériaux en suspension ( $\text{g/m}^3$ ) et le volume du débit dans la section Tyniec dans la période 1946-1950.

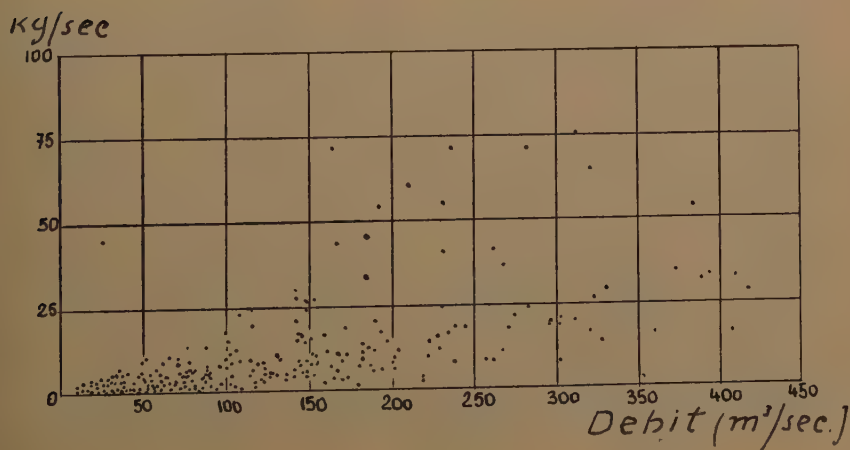


Fig. 2 — Points représentant la corrélation entre la quantité des matériaux en suspension ( $\text{kg/sec}$ ) et le volume du débit dans la section Tyniec dans la période 1946-1950.

On procéda ensuite au choix des paramètres les plus adéquats pour la formule en cause. Les principes suivants furent adoptés :

- les paramètres doivent être déterminés facilement;
- ils ne doivent pas présenter des oscillations importantes, lorsque le niveau de l'eau est le même;
- ils doivent exercer une influence notable sur le mouvement des matériaux en suspension.

Afin d'obtenir des paramètres appropriés on a établi pour neuf sections des diagrammes indiquant les changements du volume du débit  $Q$ , de la vitesse  $v$ , de la profondeur moyenne  $h$  et de la largeur du lit  $B$ . Par contre il n'a pas été possible de déterminer  $h = f(i)$ , les chutes de la nappe d'eau n'ayant pas été déterminées lors de la prise des mesures. De tels diagrammes afférents aux stations de Torun et de Wyszkow figurent à titre d'exemple sur les fig. 3 et 4.

On décida de faire ressortir dans la formule le volume du débit, cet élément ayant une influence réelle sur la quantité des matériaux en suspension. Cette influence est révélée d'une manière générale par l'accroissement de la quantité des matériaux en suspension en fonction de l'augmentation du volume du débit.

La quantité des matériaux en suspension dépend également de la chute et de la profondeur du fleuve. Il semble pourtant qu'il est plus juste de mettre en évidence la corrélation entre la quantité des matériaux en suspension et la vitesse en deuxième puissance, le produit de la profondeur et de la chute étant en fonction du carré de la vitesse  $v = c \sqrt{ti}$ .

En tenant compte de la vitesse nous tenons compte en même temps de la profondeur et de la chute ainsi que de la rugosité du fond qui est contenue dans le coefficient  $c$ .

La rugosité du fond dépend des diamètres des grains qui le constituent, par

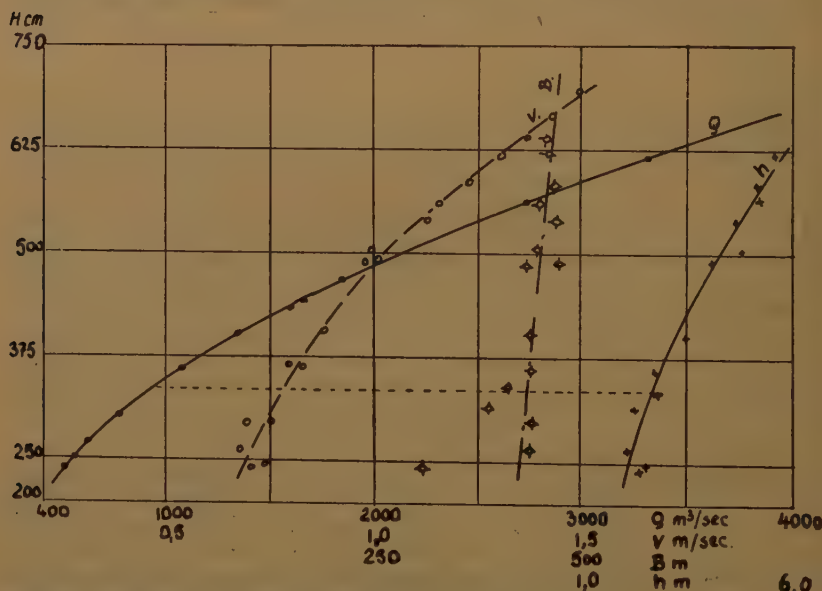


Fig. 3 — Variations du volume du débit  $Q$ , de la vitesse  $v$ , de la profondeur du fleuve  $h$  et de la largeur de la nappe  $B$  du fleuve constatés dans la section Torun pendant différents états de l'eau.

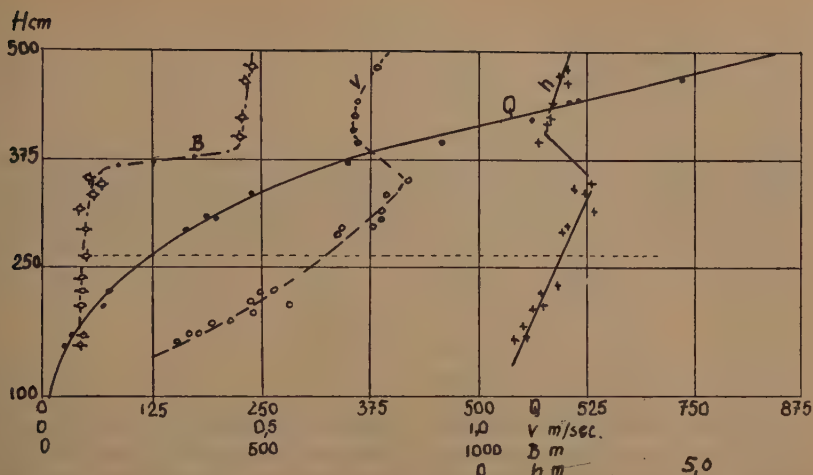


Fig. 4 — Variations du volume du débit  $Q$ , de la vitesse  $v$ , de la profondeur du fleuve  $h$  et de la largeur de la nappe  $B$  du fleuve constatés dans la section Wyszki pendant différents états de l'eau.

conséquent, en tenant compte de la vitesse, nous tenons non seulement compte de la profondeur et de la chute, mais aussi des diamètres des matériaux constituant le fond.

On décida donc de tenir compte, dans la formule de la quantité des matériaux en suspension, du volume du débit  $Q$ , de la vitesse  $v^2$  et de la surface du bassin fluvial  $F$ .

La prise en compte de la surface du bassin est également motivée par le fait que les matériaux en suspension proviennent principalement de la surface du bassin.

Il convient de signaler que le mouvement des matériaux en suspension est souvent considéré comme un phénomène causé par le soulèvement des particules du limon du fond que l'eau transporte en suspension. Cette supposition est cependant inexacte, puisque la granulométrie des limons des fonds fluviaux est pour la plupart plus grande que celle des matériaux en suspension. Si par contre la majeure partie des matériaux en suspension provenait du soulèvement des limons du fond, leur granulométrie devrait correspondre dans une large mesure à la granulométrie de la couche supérieure des dépôts du fond.

On a constaté par ailleurs que pendant les crues des fleuves coulant sur des terrains bas la quantité des matériaux en suspension peut être plusieurs fois plus grande dans la période de l'accroissement que pendant les baisses de l'eau, même si la profondeur de l'eau est la même.

Ce phénomène ne peut être expliqué que par le fait que le fleuve reçoit au début de la crue une quantité beaucoup plus considérable de produits de l'érosion qui apparaît sur la surface du bassin fluvial.

Il est évident en effet que si le lit fluvial faisait l'objet d'une érosion intense, la quantité des produits de cette érosion transportée par le fleuve serait la même pendant l'accroissement et la baisse des eaux.

#### Formule exprimant la quantité des matériaux en suspension

J'ai admis que la quantité des matériaux en suspension dans cette formule est fonction de  $Q$ ,  $v$  et  $F$

$$R = f(Q, v, F)$$



où R est la quantité des matériaux en suspension en kg/sec.

Q — le volume du débit en m<sup>3</sup>/sec,

v — la vitesse du courant en m/sec,

F — la surface du bassin fluvial en m<sup>2</sup>.

Afin de réduire les quantités variables apparaissant dans cette fonction on a appliqué les thèses de l'analyse dimensionnelle. On a constaté cependant qu'il est impossible d'établir des paramètres sans dimension au moyen des variables admises. Ce n'est qu'en tenant compte de l'accélération de la pesanteur ( $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$ ) et du poids de l'eau ( $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$ ) qu'il a été possible d'établir ces paramètres dans les équations suivantes :

$$x = \frac{v^2}{g \sqrt{F}} \quad (\text{nombre de Froude})$$

$$y = \frac{R}{Q\gamma}$$

On avait envisagé initialement de tenir compte pour la construction de la formule exprimant la quantité des matériaux en suspension des mesures prises dans les stations d'observation permanentes, les résultats de ces mesures étant supposés plus corrects. On se heurte cependant à des difficultés causées par le fait qu'on avait prélevé dans les stations d'observation des essais de matériaux en suspension seulement sans mesurer le débit et la vitesse de l'eau qui devait être pris en compte dans la formule selon le principe posé initialement.

C'est pour ce motif que la formule a été basée sur les résultats de 124 essais pris sur trois points des diverses verticales dans les sections de la Vistule et du Bug (tab. 2).

Lors de l'application des résultats de ces mesures il sera nécessaire de prendre en compte dans la formule ainsi construite le coefficient d'augmentation 1,4.

Après l'introduction dans le diagramme les valeurs  $x$  et  $y$  calculées sur la tableau 2 j'ai obtenu une série de points dispersés. Vu la grande dispersion de ces points on les divisa en 13 groupes et on procéda au calcul des valeurs moyennes dans chaque groupe. On obtint ainsi 13 points moyens figurant sur la fig. 5.

Lors de la détermination des valeurs moyennes on classa dans chaque groupe des points aux valeurs rapprochées en prenant soin que le nombre de points dans chaque groupe soit égal. On obtint ainsi des valeurs moyennes d'une portée égale dans chaque groupe.

Les points différant très sensiblement des autres n'ont pas été pris en compte dans la supposition qu'ils étaient grevés de grosses erreurs.

Pour la disposition des points moyens ainsi obtenus on admit comme fonction  $y = f(x)$  considérée comme l'équation la plus adéquate de la droite

$$y = mx + a$$

Le coefficient  $m$  et l'expression libre  $a$  furent obtenus dans cette équation au moyen de la solution de la disposition des équations normales

$$aN + m\sum x = \sum y$$

$$a\sum x + m\sum x^2 = \sum xy$$

La solution de cette disposition d'équations est exprimée par les formules suivantes :

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum xy}{\Delta}$$

$$m = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\Delta}$$

$$\Delta = N \sum x^2 - (\sum x)^2$$

où

TABLE 2  
Résultats des mesures des matériaux en suspension

N	Q m <sup>3</sup> /sec.	v m/sec.	R kg/sec.	$x = \frac{10^{-10}v^2}{g \sqrt{F}}$	$y = \frac{10^{-6}R}{Q\gamma}$
1	2	3	4	5	6
SECTION SZCZUCIN (F = 23752 km <sup>2</sup> )					
1	271	0,56	53,8	2075	198
2	610	1,16	508,0	8900	834
3	940	1,20	288,8	9500	308
4	734	1,07	143,2	7578	195
5	595	1,08	84,8	7720	143
SECTION SANDOMIERZ (F = 31782 km <sup>2</sup> )					
6	522	0,93	50,8	4953	98
7	476	0,90	40,1	4638	84
8	377	0,80	22,3	3660	59
9	239	0,71	8,0	2886	33
10	878	1,20	190,2	8246	215
11	706	1,09	64,9	6800	93
12	574	1,04	33,3	6194	58
13	356	0,92	12,4	4847	35
14	261	0,84	7,4	4040	30
15	207	0,79	5,1	3574	28
16	970	1,18	161,1	7973	166
17	918	1,18	84,8	7973	92
18	720	1,08	52,8	6679	73
19	718	1,10	65,1	6914	91
20	692	1,04	123,2	6194	178
21	777	1,06	155,4	6435	200
22	339	0,95	35,7	5168	66
23	790	1,04	72,5	6194	92
24	718	1,01	63,0	5842	88
25	715	1,05	55,7	6314	78
26	990	1,15	149,6	7574	151
27	869	1,10	88,8	6929	101
28	371	0,79	35,6	3574	96
29	210	0,61	8,9	2131	42
30	284	0,66	74,0	2495	26
31	400	0,88	53,0	4435	135
32	316	0,74	22,1	3136	70
33	467	0,86	55,5	4236	183
34	370	0,79	21,9	3574	55
SECTION PULAWY (F = 57303 km <sup>2</sup> )					
35	182	0,51	3,8	1109	21
36	639	0,92	76,7	3610	120
37	966	0,94	62,6	3769	65
38	267	0,70	8,5	2090	32
39	376	0,71	19,8	2150	55
40	233	0,58	1,8	1435	8

TABLE 2 (suite)  
Résultats des mesures des matériaux en suspension

N	Q m <sup>3</sup> /sec.	v m/sec.	R kg/sec.	$x = \frac{10^{-10} v^2}{g \sqrt{F}}$	$y = \frac{10^{-6} R}{Q \gamma}$
1	2	3	4	5	6
41	249	0,72	2,5	2211	10
42	342	0,72	4,1	2211	12
43	290	0,69	1,3	2031	4
44	253	0,63	1,6	1693	6
45	228	0,73	1,7	2273	7
46	261	0,56	5,7	1338	22
47	503	0,79	11,5	2658	23
48	565	0,89	15,2	2909	26
49	539	0,89	11,5	2909	21
50	554	0,89	12,1	2909	22
SECTION NADWILANOWKA (F = 85176 km <sup>2</sup> )					
51	257	0,60	3,7	1246	14
52	356	0,59	13,1	1215	37
53	335	0,73	7,5	1816	26
54	1412	1,06	345,6	3922	244
55	3055	1,53	1262	8172	413
56	2122	1,25	457	5455	215
57	909	0,84	107,5	2463	118
58	792	0,85	183,4	2522	232
59	490	0,73	52,0	1860	106
60	758	0,87	241,5	2642	319
61	584	0,76	135,5	2016	232
62	562	0,85	50,2	2522	89
63	1116	1,09	748	4148	671
64	1103	1,09	589	4148	534
65	925	1,07	232,8	4030	252
66	427	0,76	15,1	2016	35
67	378	0,69	11,2	1662	80
68	369	0,76	8,4	2016	23
69	420	0,73	15,4	1860	38
70	473	0,81	18,4	2230	39
71	462	0,78	19,4	2124	42
72	1301	1,10	57,2	4224	44
73	641	0,96	23,8	3217	71
74	384	0,82	14,1	2347	31
75	452	0,75	15,5	1964	43
76	344	0,73	8,1	1860	24
77	294	0,68	4,2	1614	14
78	347	0,76	4,6	2016	13
79	494	0,91	7,5	2891	15
80	309	0,77	5,0	2070	16
81	324	0,78	5,5	2113	20
82	336	0,84	3,3	2463	10
83	395	0,84	6,9	2463	17

TABLE 2 (suite)  
Résultats des mesures des matériaux en suspension

N	Q m <sup>3</sup> /sec.	$\nu$ m/sec.	R kg/sec.	$x = \frac{10^{-10}\nu^2}{g\sqrt{F}}$	$y = \frac{10^{-6}R}{Q\gamma}$
1	2	3	4	5	6
84	352	0,84	4,4	2463	12
85	322	0,84	2,9	2463	9
86	746	0,95	36,4	3151	49
87	440	0,73	9,1	1860	21
88	416	0,71	11,6	1760	27
89	452	0,73	9,6	1860	21
SECTION PLOCK (F = 168362 km <sup>2</sup> )					
90	811	0,79	39,7	1554	49
91	634	0,68	16,6	1150	26
92	826	0,80	11,0	1591	13
93	622	0,71	7,8	1253	12
94	848	0,83	25,1	1713	30
95	339	0,50	4,8	622	14
96	364	0,53	5,8	698	16
97	440	0,63	10,5	987	24
98	473	0,65	14,0	1050	29
99	467	0,65	12,0	1050	25
100	1389	1,11	25,8	3064	19
101	1106	1,06	32,8	2794	30
102	1833	1,18	108,7	3462	59
103	280	0,57	3,7	808	13
104	280	0,57	3,7	808	13
105	279	0,56	2,8	780	10
SECTION SILNO (F = 174146 km <sup>2</sup> )					
106	724	0,98	11,4	2348	16
107	805	0,80	12,0	1564	15
108	718	0,77	5,4	1205	8
109	413	0,68	9,2	1130	22
110	402	0,66	7,6	1065	19
111	400	0,71	2,5	1232	6
112	541	0,76	7,8	1412	13
113	474	0,88	4,2	1893	19
114	474	0,79	3,7	1526	8
SECTION WYSZKOW (F = 38159 km <sup>2</sup> )					
115	160	0,78	1,9	3019	12
116	615	0,74	9,6	2863	14
117	564	0,73	7,3	2786	13
118	86	0,50	1,0	1307	12
119	91	0,57	0,9	1698	10
120	45	0,43	2,6	967	14
121	45	0,43	0,5	967	11
122	36	0,39	0,5	795	14
123	39	0,41	2,3	879	60
124	42	0,45	0,8	1059	19



En appliquant les données de la tab. 3 et en particulier les sommes figurant sur la dernière ligne de cette figure on obtint pour  $a$  une valeur minime. C'est pourquoi on renonça à l'emploi à une droite qui aurait amené à une formule finale du type

$$R = Q\gamma \left( m \frac{v^2}{g\sqrt{F}} + a \right)$$

On adopta par contre une droite traversant le point initial de la disposition

$$y = mx$$

Le paramètre  $m$  de cette droite est obtenu de l'équation normale suivante :

$$m\sum x^2 = \sum xy$$

d'où 
$$m = \frac{\sum xy}{\sum x^2} = \frac{32644 \times 10^3}{183440} = 177,9$$

La droite ainsi obtenue ayant été introduite sur le diagramme (fig. 5) on constata qu'elle était mal située parmi les 13 points moyens obtenus.

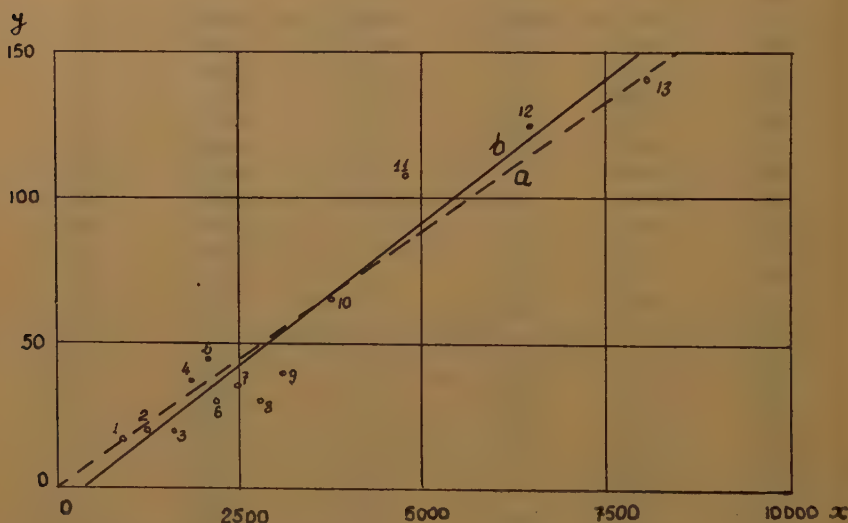


Fig. 5 — Points moyens servant de points de repère pour la détermination de l'équation de la droite : a) droite dans laquelle la somme des carrés des déviations est minime, b) droite dans laquelle la somme des valeurs absolues des déviations est minime.

C'est pourquoi j'ai renoncé à l'application du postulat de Gauss exigeant que la somme des carrés des déviations soit d'une importance minime. On admit par contre que la somme des valeurs absolues des carrés des déviations doit être d'une importance minime.

On traça plusieurs droites correspondantes aux points introduits dans le diagramme et on mesura les déviations. On choisit parmi ces droites celle par rapport à laquelle la somme des valeurs absolues des déviations était la plus minime. Les

TABLE 3

*Résultats des calculs de l'équation de la droite*

N	$x = 10^{-10}\text{Fr}$	$y = \frac{10^{-6}\text{R}}{\text{Q } \Upsilon}$	$10^{-16}x^2$	$10^{-14}xy$	$y_0 = 177,9x$	Déviations $\delta = y - y_0$
1	897	17	80	152	16	+ 1,0
2	1218	20	148	244	21,6	— 1,6
3	1577	19	249	300	28	— 9,0
4	1842	37	339	681	32,8	+ 4,2
5	2045	46	418	940	36	+ 10,0
6	2180	29	475	632	39	— 10,0
7	2438	35	594	853	43	— 8,0
8	2771	31	767	859	49	— 18,0
9	3089	41	954	1266	54,9	— 13,9
10	3744	66	1402	2471	66,6	— 0,6
11	4769	108	2274	5150	84,8	+ 23,2
12	6437	125	4143	8046	114,5	+ 9,5
13	8066	137	6506	11050	143,5	— 6,5
$\Sigma$	41073	711	18349	32644		

TABLE 4

*Quantités moyennes des matériaux en suspension*

N	Section	F km <sup>2</sup>	$\sqrt{F}$ km	Débit moyen m <sup>3</sup>	Q m <sup>3</sup> /sec	v m/sec	Quantités moyennes de matériaux kg/sec.		Déviations %
							mesures	formule Jarocki	
1	Szczucin	23 752	154	4 648 423 700	147	0,76	14,4	15,7	+10
2	Sandomierz	31 824	178	8 319 806 400	264	0,72	22,9	21,9	— 4
3	Pulawy	57 303	239	12 956 414 400	411	0,71	31,6	24,7	— 29
4	Warszawa	85 176	292	17 166 196 000	544,4	0,85	34,2	38,5	+12
5	Wlôclawek	171 250	414	24 761 535 000	785	0,90	42,9	44,1	+ 3
6	Torun	179 990	424	25 788 433 000	818	0,76	43,6	31,8	— 27
7	Tczew	193 170	440	30 269 519 000	960	0,98	51,5	59,8	+11
8	Wyszków	38 159	195	3 825 900 000	121,3	0,65	(9,8)	7,5	— 24
9	Zegrze	69 051	263	8 044 031 000	271	0,52	7,0	8,0	+12

coordonnées de deux points de cette droite servirent à la détermination analytique de l'équation de cette droite.

$$\frac{R}{Q\gamma} = 200 \frac{v^2}{g \sqrt{F}} - 8 \cdot 10^{-6}$$

Dans cette formule la surface du bassin fluvial est exprimée en m<sup>2</sup>.

En exprimant la surface du bassin fluvial en km<sup>2</sup>, en éliminant l'expression libre comme étant d'une portée minime et en tenant compte du coefficient d'augmentation 1,4 (tab. 1), j'ai obtenu la formule définitive suivante pour la détermination de la quantité des matériaux en suspension

$$R = \frac{0,28}{g \sqrt{F}} Q v^2 \gamma$$

où R est la quantité des matériaux en suspension en kg/sec.

Q — le volume du débit en m<sup>3</sup>/sec,

v — la vitesse de l'eau en m/sec,

γ — poids de l'eau égal à 1000 kg/m<sup>3</sup>,

g — l'accélération de la pesanteur en m/sec<sup>2</sup>,

F — la surface du bassin en km<sup>2</sup>.

Cette formule peut être appliquée pour le calcul de la quantité des matériaux en suspension si le nombre Froude  $Fr = \frac{v^2}{g \sqrt{F}}$  oscille entre  $700 \times 10^{-7}$  et  $9000 \times 10^{-7}$ . Dans le nombre Froude la vitesse a été exprimée en m/sec., l'accélération de la pesanteur en m/sec<sup>2</sup> et la surface du bassin fluvial F en km<sup>2</sup>. Pour les autres valeurs du nombre Froude cette formule n'a pas été empiriquement vérifiée à défaut de mesures. On a calculé à l'aide de cette formule les quantités moyennes des matériaux en suspension figurant sur la table 4 ainsi que les quantités déterminées au moyen des mesures prises dans les stations d'observation. Sur cette table les volumes moyens des débits dans les diverses sections ont été déterminées par la division des moyennes annuelles des débits en m<sup>3</sup> par le nombre annuel des secondes. Pour les volumes des débits ainsi obtenus on adopta les vitesses correspondantes basées sur les diagrammes (fig. 3 et 4).

Sur la table 4 on compara également les déviations de la quantité des matériaux en suspension calculée selon ma formule empirique et les quantités déterminées au moyen de mesures prises dans la nature.

Il ressort de cette comparaison que la plus importante déviation ne dépasse pas 29 %.

# PROBLEMS OF STUDYING EROSION PROCESSES ON THE USSR TERRITORY

D. L. ARMAND

1. The investigation of erosion processes in Russia was begun in the seventies of the last century. The Russian scientists studied erosion processes as the main factor in relief formation and tried to arrange erosion forms in genetic series. The main contributors in this branch were V. V. Dokuchaev, P. A. Kostychev, S. N. Nikitin, V. I. Massalsky and others.

In the twentieth century when erosion began spreading widely, an agricultural aspect of erosion investigations has been developed. A great contribution to this branch of science was made by A. S. Kozmenko. After the October Revolution a number of complex expeditions were organized to study erosion.

2. A theoretical basis for the erosion investigations is the study of a slope run-off. The scientists do not confine themselves to the measurements of a watershed run-off alone but make an attempt to establish the relation between the run-off modulus and climatic, geomorphological and soil-botanical parameters within elementary platforms.

The principle method in studying the run-off in the USSR consists of observations of run-off platforms and determination of water permeability of soil during artificial raining.

3. Various methods of increasing the absorption of water by soils are the chief means to prevent the effect of erosion. In view of this, a special importance should be attached to the computation of a slope run-off expenditure. This runoff in  $t$  min. after the start of rain with continuous intensity is equal to:  $Q_t = CI^m(q_t)^{n+1}$ , where  $C$ ,  $m$  and  $n$  are constants depending on the state of the surface,  $I$  — incline and  $q$  — a run-off layer in a time unit. This formula makes it possible to use the water balance method and compute the width of anti-erosion forest belts and other run-off absorbers. Computation parameters are: intensity of rain and soaking, duration of the rain, moisture capacity of the forest belt, incline and length of the run-off.

4. The primary form of erosion outwash originates due to the alternation of jet erosion and levelling of soil in ploughing. S. S. Sobolev has worked out methods of quantitative estimates of the out-wash by means of mass measurement of jet erosions. As result of a lasting outwash the soil becomes outwashed and its fertility decreases. Some classifications of the outwash have been worked out, which are based on determining percentage of the humus horizon washed down by run-off (G. P. Surmach, etc.).

5. Outwash develops into erosion by the formation of shallow hollows which produce a wavy relief of the field and hamper its ploughing (V. P. Lidov, etc.). The extent of erosion effect on a ploughed slope depends on its gradient and length. The determination of the position of shallow hollows on the slope permits to find the most favourable location of anti-erosion forest belts and gutters by means of a special nomogram.

6. In the USSR great attention is paid to the study of arable and forest micro-relief and its effect on re-distribution of liquid and solid run-off (K. L. Kholupyak).



Recently a special attention has been paid to the study of the influence of tractor field work on run-off and erosion.

7. Special recommendations have been worked out regarding the best distribution of arable lands, forest belts and other plots on convex, concave and complex slopes. (S. I. Silvestrov, etc.). A prevailing slope form is one of the relief characteristics and therefore it is taken into account when erosion regions are marked.

8. Recently E. A. Mironova has elaborated methods of dividing a territory into regions by quantitative indices, i. e. by a percentage of plots with different slopes and different slope lengths. The author of the report performed the division into erosion districts for the European part of the Soviet Union on the 1 : 1 500 000 scale.

9. At present the main trends in erosion investigations are as follows:

- a) the use of quantitative, particularly geophysical and morphometrical methods,
- b) the study of the influence upon erosion of specific forms of using land in a large-scale mechanised farming.

# FEDERACION NACIONAL DES CAFETEROS DE COLOMBIA

*Communication reçue par*

M. GOTTSCHALK

## *PREGUNTA 1 : Informacion cuantitativa disponible sobre erosion en Colombia*

1 — Suarez de Castro, Fernando. Características de las lluvias en una zona cafetera de Colombia y uso de los datos pluviograficos en el calculo de obras de defensa de suelos. Boletin tecnico 3. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchina, 1947.

2 — Suarez de Castro, Fernando. Experimentos sobre la erosion de los suelos. Boletin tecnico § 6. Centro Nal. de Investigaciones de Café, Chinchina, 1951.

3 — Suarez de Castro, Fernando. Perdidas por erosion de elementos nutritivos bajo diferentes cubiertas vegetales. Agricultura Tropical. VIII (8) 31-36. Bogota, 1952.

4 — Suarez de Castro, Fernando. El uso de los terrenos agricolas colombianos y su influencia en la erosion de los suelos. Boletin informativo, centro Nal. de Investigaciones de Café. III (27) 24-30 Chinchina, 1952.

5 — Suarez de Castro, Fernando. Perdidas de suelo y agua en un cafetal y en un potrero. Boletin Tecnico 11, Centro Nal. de Investigaciones de Café, Chinchina, 1953.

6 — Suarez de Castro, Fernando y Rodriguez, Alvaro. Pérdidas por erosion de elementos nutritivos, bajo diferentes cubiertas vegetales y con varias practicas de conservation de suelos. Boletin técnico 14. Centro Nal. de Investigaciones de Café, Chinchina 1955.

7 — Suarez de Castro, Fernando y Rodriguez, Alvaro. Pérdidas de suelo y agua bajo diferentes sistemas de cultivo. Boletin Técnico 17 Centro Nal. de Investigaciones de Café, Chinchina, 1956.

## *PREGUNTA 2 : Estado actual de la investigacion sobre la erosion de los suelos*

La unica entidad que lleva a cabo estudios sobre ese asunto es la Campana de Suelos de la Federacion Nacional de Cafeteros. Esta tiene estaciones experimentales en 5 lugares de la zona cafetera de Colombia (territorio comprendido entre los 1000 y 1800 ms. en donde lleva a cabo estudios sobre :

### *1 — Lluvias*

- a) Numero de aguaceros.
- b) Totales diarios, mensuales y anuales.
- c) Intensidades maximas.
- d) Lluvias y perdidas de suelo y agua.
- e) Potencialidad erosiva de las lluvias al aire libre y bajo cafetal.

- 2 — Estudios en lisímetros monolíticos del movimiento de Vagua en el suelo.
- 3 — Estudios en predios de escorrentia (runoff-plots) de las perdidas de suelo y agua con diversos cultivos y practicas.
- 4 — Estudios on predios de escorrentia (runoff-plots) de las perdidas por erosion de elementos nutritivos, bajo diferentes cubiertas vegetales y con varias practicas de conservacion de suelos.
- 5 — Estudios sobre la resistencia a la erosion de diversos suelos colombianos y propiedades físicas y químicas relacionadas con esa resistencia.
- 6 — Estudios sobre el equilibrio (ingreso, contenido actual, rata de des composicion, acumulacion) de materia organica en plantaciones de café.
- 7 — Estudios sobre el efecto de abonos verdes el contenido de nitrógeno y el rendimiento de las cosechas.
- 8 — Estudios sobre el efecto de las quemas sobre el suelo y las consechas.
- 9 — Efecto de varias practicas en el control de las erosion en cafetales sin sombrío.

PREGUNTA 3 : *Investigaciones sobre pronostico de erosion*

Queda respondida en los numerales anteriores.

FERNANDO SUAREZ DE CASTRO

## CANADA — DEPARTMENT OF AGRICULTURE

### EXPERIMENTAL FARMS SERVICE

*Communication reçue par*

M. GOTTSCHALK  
Field Husbandry, soils and agricultural engineering division

Dear Dr. Gottschalk:

In reference to your letter of May 20, I have been unable to find a published bibliography on soil erosion in Canada. Under our organization in the Canada Department of Agriculture no one man is engaged full time on erosion studies although several of us do carry on somme activities in this field. Therefore I will attempt to give you a brief resume of work in Canada under the three questions you presented. I will also indicate several organizations you might write to if you wished to obtain additional information. Before doing so, I would like to mention two points for the sake of clarification.

I presume that the questions in your letter refers to accelerated erosion caused by man's activities and not to normal geological erosion. Most of our soil survey reports and maps list the amount of eroded land in the areas covered. However, this eroded land has been due to geological erosion. This part is not always well understood as some people in Canada have included this class of land in trying to arrive at a quantitative estimation of the amount of land in Canada suffering erosion through man's activities. My remarks will be confined to erosion due to man's activities. If you are also interested in geological erosion I would suggest you write to the Geological Survey of Canada at Ottawa. Actually as far as total erosion is concerned in Canada, Geological erosion has been a much greater factor than accelerated erosion due to man's activities.

The other point I wished to mention is that most of the agricultural research on erosion in Canada has been directed toward control. This is particularly true in the case of wind erosion and we feel we now have effective control measures if the farmers affected do not get careless. The situation is not as satisfactory insofar as water erosion is concerned. However, the latter I feel is a much more difficult problem. I just wanted to mention our work on control measures although you did not request information on this aspect.

#### QUESTION No 1 — *Quantitative information Available on Erosion*

1) Only two rather small areas have been surveyed and published on which deal specifically with a quantitative estimation of soil losses due to erosion. They are:

a) «Soil Erosion and Land Use Survey, Hope Township, Project Area, Durham County, Ontario», by N. R. Richards and F. F. Morwick, 1942. Published by Department of Soils, Ontario Agricultural College, Guelph.

b) «Soil Survey of Mortlach, Chaplin and Lake Johnstone Area, Saskatchewan». Report No. 11. Department of Soils, University of Saskatchewan, Saskatoon.

I believe both these publications are now out of print but you might be able to obtain a copy by writing to the Department mentioned. Incidentally these were both problem areas and probably show extreme rather than average conditions in Canada.

2) In 1950, Mark Balwin requested us to compile a map of Canada showing losses in productivity due to erosion in three classes. This was in connection with an F. A. O. project on a world map showing erosion losses. After some protest the soil surveyors under my direction prepared such a map on a scale of 100 miles to the inch and sent it to Baldwin at so I presume the project folded.

Small scale reproduction—this map appear in the back pages of a report entitled «The status of soil conservation in Canada» and a discussion on the map appears on page 7 of the same report. The map for eastern Canada was also published by Richards in the 1954 march-april issue of the agricultural institute Review. Copies of these publications are being sent to you for the above reason and also because they have other papers which may be of interest to you. While I can only claim this map is a broad approximation it certainly is the closest estimation we have for at least a semi-quantitative picture of accelerated erosion losses in Canada.

3) Papers which might be pertinent to Question — N<sup>o</sup> 1. Moss, H. C. Some field and laboratory studies of soil drifting in Saskatchewan-Scientific Agriculture 15:665-679 June 1953.

Palmer A. E. The soil drifting probleme in the Prairies Provinces — Sci. Agr. 16, 264 Jan. 1936.

Erdman, R. L. Effects of wind erosion on the composition and fertility of some Alberta soils. Sci. Agr. 22:533-545, 1942.



Clark, J. A. Prince Edward Island soils and control methods for soil erosion. Sci. Agr. 23:220-222, 1942.

Dickson, W. Some aspects of soil erosion in eastern Canada. Sc. Agri. 23:223, 1942.

Cordukes, W. E., Turner, R. C., P. O. Ripley, and H. J. Atkinson. Water erosion of soil. Sci. Agr. 31, 152-161 April 1951 (Results of run-off and erosion losses on plots at Ottawa).

N. B. A number of papers have been issued by the Soil Research Laboratory at Swift Current, Saskatchewan which might apply to either Question 1 or 3. These are listed in the back of the two reports issued by the Soil Research Laboratory.

#### QUESTION No 2: *Status of Present Research on Erosion Processes*

a) Plots to measure water and soil losses have been established at :  
Experimental Farm—Ottawa—(See the paper by Cordukes, et al. for results up to 1951).

Experimental Farm — Charlottetown, Prince Edward Island.  
Department of Soils, Ontario Agricultural College Guelph.  
Department of soils, University of Alberta, Edmonton.

b) Bisal at the Soil Research Laboratory, Swift Current has for some years been studying the mechanics of water erosion.

Staple at the same Laboratory has been studying the effect of wind breaks on wind velocities and humidity.

Apart from this work, I do not know of any other direct research on erosion processes.

#### QUESTION N° 3: *Investigations of forecasting Erosion*

I am not clear on just what you would include here. Certainly some of Chepil's work at Swift Current on particle sizes susceptible to drifting would pertain to forecasting. I doubt if we have done any research on forecasting water erosion. However, I would say that through observation we are able to predict the danger from either wind or water erosion on a particular field.

A. LEAHEY, *Principal Pedologist.*

*Communication reçue par M. Simaika*

## FORESTRY IN RELATION TO WATERSHED PROTECTION (IRAQ)

G. W. CHAPMEN M.B.E.,  
M. A. (F. A. O. Forestry Adviser to Iraq)

The paper is an interesting survey of what is being done about the protection and management of the watershed forests in the Tigris river system in Iraq.

The objective is not so much to increase the flow of water, which is always ample, but rather to hold back the flood peaks as late into the summer as possible and to keep the water as free as possible from the excessive silt which reduces the life of the reservoirs and clogs the irrigation canals. For such purposes forest cover is ideal.

The writer ably discusses the main causes which impair the efficiency of the Iraq forests for water and soil conservation and describes the methods for their maintenance and repair.

According to the writer there are three main phases to be distinguished in securing proper control and management of watershed and this goes for other fields as well as forestry:

The first phase comprises a survey of the present state of the watershed and an evaluation of the problems.

The second phase may be called the protection phase, when efforts are made to control or eliminate those forms of activity which impair good catchment efficiency.

The third phase is the improvement phase in which by the introduction of improved practices such as range management conservation farming and organized forestry, catchment efficiency is gradually improved towards the desired level.

There are about 17650 square Kilometres or nearly 70% of the Tigris watershed areas in Iraq which can be classed as forest land. In the catchment of the Tigris and Big Zab it is over 80% while in the Little Zab it is about 50%. Only in Diyala and Adhaim the proportion is on the low side.

Unfortunately no information exists about those parts of the watersheds which fall within Turkey and Iraq because the treatment of these is bound to play an important role in relation to flood control and water conservancy in the rivers after they enter Iraq.

The first general survey of the forest lands has been completed and a forest map issued. The mountain forests in the north of Iraq—though not very good forests—are perfectly effective for water and soil conservation. There are however a number of influences which impair their efficiency the most important are forest fires, shifting cultivation, overgrazing and overcutting.

The main features of forest protection and management are:

1) The Forest Law, which defines the relationship of the people with the forest — defining those forms of utilization which are permitted and those which are forbidden.

2) Forest Reservation: by which the particular areas of forest to which the Forest Law applied are defined and demarcated.

3) Fire Protection.

4) Control of forest grazing and shifting cultivation.

5) Rationalized forest exploitation —by which catchment efficiency in forest lands can be improved by controlled exploitation. Selective and contour fillings combined with extraction along contour lines rather than straight down the slopes are customary features of controlled exploitation in watershed forests.

6) Afforestation which is necessary to restore areas of forest which have been depleted of forest cover and thereby constitute erosion hazards. Also used for riparian control and for the improvement of natural silt traps.

7) Forest Service — or the need for a well organized and professionally trained staff of foresters charged with the responsibility of protecting and managing the forests.

Steady progress has been made towards the intensification of forest protection and as regards the last phase, a series of small afforestation projects in many areas has been started. Efforts are being concentrated on the discovery and elaboration of technique suitable to conditions in Iraq. One very interesting and valuable result

of this research has been the response of the native forest vegetation, particularly herbaceous and shrubby species, to complete protection from grazing.

The introduction of rationalised forest exploitation is yet to come, but schemes for this have already been drawn up and it is hoped will come into operation in the near future.

*Communication reçue par M. Simaika*

## SEDIMENTATION AND CROPLAND MANAGEMENT IN RELATION TO WATERSHED PROTECTION (IRAQ)

BURNELL G. WEST & LOUSY KADRY

The writers have presented an interesting paper on the sedimentation problem in Iraq which has caused great damage to the cultivated lands and to the irrigation system. Unlike the silt of the Nile which has formed and is still forming the fertile land of Egypt, the Tigris silt does not add to the fertility of the soil. When deposited on the land it would clog its pores and cracks preventing proper aeration and reducing the infiltration capacity of the soil.

The main cause of the sediment trouble is accelerated soil erosion specially in the Adhaim watershed.

The writers emphasize the need of research to determine the methods and design of soil erosion control measures that are best suited to conditions in Iraq.

The paper is summarised as follows:

### SUSPENDED SILT IN THE TIGRIS

The total suspended sediment in 1953 amounted to about 111 million cubic metres which is about the same as that carried by the Nile. Nearly half of the total sediment was contributed by the three short duration floods between february 14 and march 17. These floods were largely the result of rains in the foothill section of Iraq and it is possible that the sediment was mostly eroded from the foothill section rather than from the mountain areas.

### DAMAGE TO THE IRRIGATION SYSTEM

The seriousness of the sedimentation problem is illustrated in the filling of the irrigation canals with heavy silt deposits thus impairing their efficiency. Field ditches, established only 50 years ago in Karbala, Deltawa and elsewhere have silt ridges 7 to 10 metres high. The numerous hills of sediment marking the lines of the old canal system show the tremendous effort and heavy cost required to keep these canals cleaned. Parallel canals—a frequent phenomenon in Iraq—suggest that in time past as the sediment piled higher and higher it finally become easier or less expensive to dig a new canal rather than clean the old one.

## DAMAGE TO THE SOIL

Contrary to popular belief the fine silt eroded from the croplands is poor in plant nutrient. It finally finds its way to the valley soil clogs its cracks and pores and reduces its productivity.

## SOIL EROSION CONTROL

This tragic loss of the soil can be retarded by a well studied soil and water conservation program. Research is needed to determine the methods and design of control measures that are best suited to Iraq conditions. An effective soil conservation program will help to establish a vegetation cover over the watershed. The vegetation itself is of value as food crop, forage for livestock fuel or timber.

The cover protects the soil against erosion and sedimentation in the form of rain and snow. Thus more water will be released gradually during late summer and autumn when the need of water is greatest.

*Communication reçue par M. Simaika*

## WATERSHED PROTECTION IN RELATION TO RANGE MANAGEMENT

H. E. SCHWAN

*Range Management Specialist U. S. O. M./IRAQ*

An interesting account is given of the great damage caused by erosion in Iraq which the writer attributes to improper cultivation, uncontrolled grazing, excessive timber cutting and other forms of land abuse.

He stresses the importance of the vegetal cover in watershed protection and its effect on run-off and sedimentation flow. Deprived of its protective cover, rainfall on the steep hills and mountains, runs off the bare surface tearing away the soil. The soil erosion not only removes the good fertile soil from the land, often rendering it incapable of growing even grass and shrubs thus further accelerating sheet erosion and the formation of gullies, but at the same time causes other damage such as the filling of stream channels and deposition of sediment behind dams and barrages.

It is almost a universal practice in Iraq to begin grazing when plants are barely out of the ground and to graze the range too long. One of the principles of range management is that plants should be at least 10 to 15 centimetres high before grazing begins.

Another major cause of severe erosion in Northern Iraq is the ploughing of hill sides and sloping lands for wheat production. Examples are cited at Chamchamal, north of Kirkuk, on Jebel Hamariin, at Penjiwin.

For the prevention of erosion and the conservation of the soil the writer suggests:

1. The re-establishment of permanent vegetation in areas which should remain



in range. Some areas may need to be protected against all grazing, others may be grazed only lightly. But all areas must be managed to improve or maintain the plant cover.

2. A land classification is urgently needed to designate those lands which may safely be cultivated and those which should not be ploughed out but should remain in pasture. This can be roughly done by the use of aerial photography and a simple classification based on broad soil types and prevailing slopes. Later a more detailed survey could be made.

3. A program for the control of grazing must be undertaken for the lands dedicated to range use. About one half of the vegetation must be left on the land to protect the soil and to hold back the water that comes from rain and snow.

4. The establishment of a competent range management organization. This requires a continuing program of training administrators, technicians, specialists and sub-professional people. The first duty of such organization should be the management and improvement of the range watershed and the stabilization of the soil.

The writer also emphasizes the need for a program for educating the people of Iraq to understand the great importance of water, soil and vegetation.

## INTRODUCTION TO WATERSHED PROTECTION

M. SAID KETTANEH

*Forestry Inspector*

College of Agriculture, Abu Ghraib (Iraq)

The writer gives a brief description of the Tigris and the Euphrates which both rise in Turkey and shows that the major part of their watersheds fall within Turkey, Iran and Syria whereas only 30% or about 130,000 km<sup>2</sup> lie in Iraq.

With the rapid development which is going on, the careful exploitation of the water resources and the proper management and protection of watersheds is of vital importance not only to Iraq but also to Turkey, Iran and Syria.

For its part, Iraq has so far built several major works for the control of its rivers, water storage and flood protection etc. Some of these big engineering works are:

Hindiya Barrage.

Habbaniyah and Abu-Dibs Reservoirs on the Euphrates.

Kut Barrage and Therthar Reservoir on the Tigris.

Dokan Dam on Little Zab.

Diyalah Dam and Derbendiyan on Diyala river and many others are proposed in different locations.

The writer concludes his paper with the following recommendations:

1. For the watersheds which fall within Iraq, a sound management policy must be established and followed. This can be achieved by the cooperation of the whole nation especially engineers, foresters, soil conservationists, agronomists etc.

2. Cooperation of Turkey, Iran and Syria, where most of the watersheds are located, with Iraq in the study and application of the best methods for the management and protection of the watersheds.

## ESTADO ACTUAL DE LA EROSION DE SUELOS Y MEDIDAS DE CONSERVACION EN GUATEMALA

1. Actualmente la erosión no es el factor limitante de la producción en las cosechas de Guatemala, excepto en un porcentaje relativamente pequeño del área total. Sin embargo, según va aumentando la demanda por una incrementación de producción, principalmente de maíz, existe una probabilidad que muchas áreas sufrirán una erosión seria.

Las áreas mayormente afectadas por la erosión, actualmento son en donde la población indígena es mayor y especialmente en las áreas en donde ocurre una temporada seca muy pronunciada de varios meses de duración. Dichas áreas son comunes en las zonas altas del Costa Central de Guatemala e incluyen partes nortes de los departamentos de San Marcos, Quetsaltenango y Totonicapán y partes del Sur de Huehuetenango y Quiché.

Los suelos en estas áreas se han desarrollado principalmente sobre canchales volcánica. Tiene la capa superficial de color café claro y los subsuelos de café rojizo.

Otra región en donde la erosión es localmente seria es la parte central del Departamento de Alta Verapas. Los suelos aquí se han desarrollado sobre picalesca con algunos incrementos de canchales volcánica fina. Esta es una región de lluvia abundante y los suelos originalmente tienen subsuelos de un color café muy oscuro hasta una profundidad de 30 cm. o más y — subsuelos café amarillento o café rojizo. La práctica general aquí es alternar los cultivos y el aumento en la demanda para maíz, ha obligado a los agricultores sembrar un área antes que haya pasado suficiente tiempo para que la vegetación haya regenerado el suelo. Ahora las roturas abundan y está resultando una erosión muy seria.

2. Métodos para controlar la erosión como las zanjas de diversión, siembras en curvas a nivel y siembras en faja han sido introducidas en algunos lugares, pero probablemente menos de 5,000 Hectáreas están planeadas adecuadamente. Alguna propaganda y trabajo experimental sobre el uso y valor de plantas cobertoras se ha llevado a cabo, pero la aceptación es lenta.

3. No se han aprobado ningunos proyectos nuevos para el periodo de 1956/58.

# COMITÉ DES INSTRUMENTS

## COMPTE RENDU DE LA REUNION DU 9 SEPT. 1957 A 15 H.

La séance est présidée par M. le Prof. Thijsse, remplaçant M. Schijf absent.

*Présents :* C.G. CLINE, Canada; S. KOLUPAILA, U.S.A.; C. REMÉNIERAS, France; VEN TE CHOW, U.S.A.; G. TISON, Belgium; S. SIMKUS, Canada; P.O. WOLF, U.K.; W. ALLARD, U.K.; W. FRIEDRICH, Germany; CAROLL F. MERRIAM, U.S.A.; J. LAMBOR, POLAND; M. PARDÉ, France; B. BROWZIN, U.S.A. and Canada; Q. ORAJIS, Canada; G. NYBRANT, Sweden; MAX SUTER, U.S.A.; G. E. HARBECK jr, U.S.A.; ABDEL MAGEED, Sudan; L.J. TISON, A.I.H.S.; MAXEY, U.S.A.; G.L. WALKER, U.S.A.; W. STICHLING, Canada; Dr. Ing. BERRY, Canada; R.C. CARTE, Canada; W. VICTOR MORRIS, Canada; F.K. KELLER, Germany; N. BROWZIN, U.S.A.; L. SERRA, France; J.R.M. GRANT, Canada; J.T. ROSE, Canada; M. GOLDSCHMIDT, Israël.

Le Professeur Thijsse présente le rapport de M. Schijf. Ce rapport est reproduit ci-après.

*Mr. Kolupaila.* Collection of data concerning hydrologic instruments is a very complicated task. Result would mean a volume of over 2000 pages. I would rather suggest to appoint few reporters for the next assembly, who would present systematic reviews of all known and used instruments, based on existing literature. It seems very difficult to gather necessary data by questionnaires sent to various countries.

*Mr. Allard* said that, as far as he remembered the interim report, it invited details of not only existing instruments but also those still being invented. This made the task of the Committee greater than ever.

He asked if it would be possible to begin on a small scale, by utilising first the list compiled by some country which already used most types of instruments concerned, and then supplementing this with any information from other countries that did not already appear in the original list. The country whose list should then first be requested might perhaps be the U.S.A., he suggested.

*Mr. Goldschmidt.* If the countries would restrict themselves to those instruments which proved successful and specify the working conditions and purposes under which they proved successful, the volume of informations would greatly be reduced.

Après une discussion assez confuse, l'Assemblée ne modifie pas son point de vue antérieur et l'action du Comité se poursuivra en essayant d'atteindre une plus grande efficacité.

On passe alors à la présentation des rapports relatifs aux instruments.

### 1. *Rapport de M. Cline.*

Le président tout en reconnaissant la haute valeur de cette étude estime qu'il s'agit plutôt d'un travail hydraulique qu'hydrologique.

### 2. *Rapport de M. Bonnin présenté par M. Reménieras.*

Prof. Thijsse: a. I am surprised that the relation between conductivity and salt content is so uniform. Will not various ions like  $\text{HCO}'_3$  spoil the relation?

b. An accuracy of discharge of 3% by other methods is very good. Does Mr. Remenieras think that in some cases a good method of measuring discharge of a river is the indirect one by measuring the conductivity?

M. Remenieras: a. La relation concentration résistivité n'est strictement valable que pour un sel déterminé et peut souvent, semble-t-il, être étendue à l'ensemble des sels contenus dans l'eau d'un bassin versant déterminé; elle serait différente pour un autre bassin. La méthode n'a été contrôlée jusqu'ici que sur des bassins versants géologiquement homogènes.

b. Dans l'expérience relatée, l'accord, de 3 à 5 %, entre la formule  $Q = f(\lambda)$  et la réalité a porté sur une seule crue durant 1 à 2 jours. Un autre coefficient serait peut-être à déterminer pour une autre crue, mais il semble qu'un seul jaugeage de contrôle étant exécuté pour chaque crue, la mesure continue de  $\lambda$  pourrait fournir, avec une bonne approximation, la courbe  $Q = f(t)$  ou hydrogramme de crue: toutefois, ceci ne paraît possible que pour un bassin géologiquement homogène. De nouvelles expériences sont nécessaires pour pouvoir se prononcer sur ce point.

### 3. *Rapport de M. Kolupaila.*

Mr. Carroll F. Merriam. (Prospect Harbour, Maine, U.S.A.) amplified the remarks of the author with additional information concerning the origin of the Z type meter method, stressing that its success depended upon the linear relation between amount of underregistration and pitch of the screw.

He furthermore stated that he had been in an excellent position to compare independent measurements at the U.G.G.S. with the average at three power plants and a gaging station all having practically the same drainage basin, and found an agreement well within 3% in most flows, but possibly up to 7% at extreme low flow when current meter measurements would be very difficult. While of the opinion that in general, measurements with Price meter have given results which are too high, a marked improvement was observed when U.S.G.S. took over measurements on a cooperative basis where formerly the work had been conducted entirely by the State Government.

### *Remarks by Mr. Kolupaila.*

I am very glad to see here again Mr. Merriam, whom I had visited at Safe Harbor in 1936 during the World Power Conference in Washington. Mr. Merriam was the inventor of the excellent idea of use of two types of blades of the screw current meter. I am sure that now he would apply for his important and unique study the component runner, described in my report. I am happy to be able to pay tribute to this honorable man, well merited in our field of science.



## RAPPORT SUR LES ACTIVITES DE 1954-1957:

### 1. *Composition du comité.*

En 1954 le comité était constitué ainsi:

Président: J.B. Schijf, Rijkswaterstaat, la Haye.

Membres: H. Bircher, Service fédéral des eaux, Berne.

W.B. Langbein, U.S. Geological Survey, Washington D.C.

En juin 1955 M. Bircher s'est retiré de sa fonction au Service fédéral des eaux et aussi du comité. Il a été remplacé par M.E. Walser. Par la suite la composition du comité est devenue la suivante:

Président: J.B. Schijf, Rijkswaterstaat, la Haye.

Membres: W.B. Langbein, U.S. Geological Survey, Washington D.C.

E. Walser, Service fédéral des eaux, Berne.

### 2. *Classification des instruments.*

En septembre 1954 il fut décidé à l'Assemblée de Rome d'étendre le champ des activités du comité — limité jusqu'ici aux instruments de mesure dans les fleuves, les canaux et les lacs — aux instruments de mesure en usage dans l'hydrologie des eaux souterraines. Pour cette dernière catégorie, une classification a été dressée présentant les mêmes principes généraux que la classification des instruments pour les eaux de surface.

Les deux classifications ont été ajoutées à ce rapport.

### 3. *Membres correspondants.*

Un nombre de membres correspondants a été nommé, conformément à la politique agréée par l'Assemblée de 1954. Ainsi les pays suivants — sans compter les Pays-Bas, la Suisse et les Etats-Unis — ont consenti à donner leur coopération:

Allemagne	Argentine
Autriche	Belgique
Brésil	Bulgarie
Canada	Chili
Colombie	Ecuador
France	Israël
Japon	Pérou
Roumanie	Royaume Uni
Suède	Uruguay
Venezuela	

### 4. *Collection des informations.*

On a commencé à assembler des informations qui devront constituer l'inventaire des instruments.

Plusieurs pays ont envoyé une liste des instruments. Cependant la majorité des pays correspondants n'a pas encore remis ses contributions. Bien que quelques données qui ont été rassemblées jusqu'à présent offrent un grand intérêt, la moisson de l'heure actuelle reste beaucoup trop pauvre pour permettre une compilation efficace d'un inventaire. Ce fait doit être attribué aux délais inévitables dans l'échange

de communications écrites d'un nombre de personnes, qui toutes ont beaucoup d'occupations et de responsabilités.

Nous espérons toutefois, qu'il sera possible du moins de présenter dans un avenir prochain une première esquisse de l'inventaire.

#### 5. *Recommandation.*

Il est recommandable que le comité poursuive ses activités d'après les directives générales observées jusqu'à présent.

ir. J.B. SCHIJF  
*Président du Comité.*

### DIVISION D'INSTRUMENTS DE MESURAGE

1. Mesure de la profondeur.
2. Détermination de la hauteur du plan d'eau.
3. Mesure de la vitesse du courant et du débit.
4. Détermination de la composition physico-chimique de l'eau.
5. Détermination de la teneur en matières solides.
6. Mesure directe du débit solide.
7. Captage d'échantillons d'eau.
8. Captage d'échantillons du fond.
9. Instruments combinés et instruments de caractère spécial.

#### SUBDIVISION.

##### 1. *Mesure de la profondeur.*

11. Sonder à la perche ou à l'aide d'un plomb.
12. Instruments mécaniques.
13. Sondes à écho.

##### 2. *Détermination de la hauteur du plan d'eau.*

21. Echelles pour lecture visuelle.
22. Echelles à flotteur.
  221. Transmission mécanique.
  222. Transmission électrique.
  223. Transmission par radio.
23. Echelles pneumatiques.
24. Echelles avec boîte à pression.
25. Echelles à détecteur électrique.

##### 3. *Mesure de la vitesse du courant et du débit.*

31. Détermination de la vitesse au moyen d'objets charriés par l'eau ou par propriétés physiques.

- 311. Emploi de substances déterminables par méthodes physiques ou chimiques.
- 312. Flotteurs.
- 32. Mesure de la vitesse au moyen de différences de pression sur objets.
  - . Tube de Pitot et appareils apparentés.
- 322. Piézomètres différentiels et appareils apparentés.
- 33. Mesure de la vitesse au moyen de forces exercées sur des objets.
  - 331. Pendules hydrométriques.
  - 339. Mesure de pression d'autre nature.
- 34. Instruments où une rotation est produite.
  - 341. Axe parallèle à la direction du courant.
  - 342. Axe perpendiculaire à la direction du courant.
- 39. Autres méthodes.

#### *4. Détermination de la composition physico-chimique de l'eau.*

- 41. Analyse chimique.
- 42. Mesure de la densité.
  - 421. Appareils pour détermination sur échantillons locaux (aréomètre, pycnomètre etc.).
  - 422. Appareils pour détermination dans une verticale (pycnosonde).
- 43. Mesure de la conductibilité électrique.
  - 431. Appareils de mesure sur échantillons.
  - 432. Appareils de mesure directe.
- 44. Mesure de la température.
  - 441. Thermomètres ordinaires.
  - 442. Thermomètres à renversement.

#### *5. Détermination de la teneur en matières solides.*

- 51. Appareils de décantation pour détermination volumétrique.
- 52. Appareils pour filtrer ou centrifuger et peser.
- 53. Appareils pour la détermination de l'absorption optique ou réflexion.

#### *6. Mesure directe du débit solide.*

- 61. Mesure du charriage de fond.
- 62. Mesure du charriage de particules en suspension turbulente.
  - 621. Appareils à écoulement libre.
  - 622. Appareils à écoulement forcé.

#### *7. Captage d'échantillons d'eau.*

- 71. Appareils à écoulement.
- 72. Appareils de captage.

#### *8. Captage d'échantillons du fond.*

- 81. Palpeurs de fond.
- 82. Appareils de forage.

CLASSIFICATION D'INSTRUMENTS POUR  
LES INVESTIGATIONS GEO-HYDROLOGIQUES DANS LE TERRAIN.

1. *Détermination de la présence d'eaux souterraines.*
11. Méthodes géophysiques.
  111. Méthodes géo-électriques.
  112. » seismiques.
  113. » magnétiques.
  114. » gravimétriques.
12. Autres méthodes.
2. *Détermination du niveau de la nappe aquifère, du potentiel et de la tension des eaux souterraines.*
21. Mesures dans des tubes filtrants.
  211. Mesures à la main.
  2112. Cloches.
  2113. Cloches-électriques (signalant le contact avec la surface de l'eau).
212. Appareils enregistreurs.
22. Tensiomètres. (voir aussi 75)
23. Eléments Bouyoucos. (voir aussi 721)
3. *Détermination de la vitesse du courant des eaux souterraines.*
31. Emploi de colorants, matières chimiques solubles.
32. Emploi de matières radioactives.
33. Autres méthodes.
4. *Détermination de la composition chimique des eaux souterraines, en particulier de la teneur en chlore.*
41. Mesures géo-électriques à la surface.
42. Détermination électrique de la conductivité des eaux dans un puits de forage.
43. Analyses en laboratoire.
5. *Détermination du coefficient de perméabilité du sol in situ ou de la transmissibilité des nappes, etc.*
51. Recherches par création d'un champ artificiel de courants d'eaux souterraines.
  511. Essais de pompage au moyen de puits filtrants.
  512. Méthodes piézométriques.
    5121. Forages sans tubes.
    5122. Forages avec tubes, courants vers une source punctiforme.
52. Détermination de la perméabilité par mesure de la conductivité électrique (méthodes géo-électriques).
53. Recherches au moyen de matières radio-actives dans les puits de forage.
54. Détermination de la perméabilité par méthodes de laboratoire.
6. *Détermination de la capacité d'infiltration du sol.*
61. Infiltromètres.
62. Autres méthodes.

7. *Détermination de l'humidité du sol.*

- 71. Méthodes directes.
- 72. Détermination électrique in situ.
  - 721. Eléments Bouyoucos. (voir aussi 23)
  - 722. Autres méthodes.
- 73. Détermination de la conductibilité de la chaleur.
- 74. Détermination à l'aide de matières radio-actives.
- 75. Tensiomètres. (voir aussi 22)

8. *Détermination de la porosité, c.q. capacité de rétention du sol d'humidité donnée.*

- 81. Par essais de pompage en terrain.
- 82. Volummètres.
  - 821. Volummètres remplis de gaz.
  - 822. » » d'eau.
- 83. Autres méthodes.

9. *Méthodes pour contrôler les puits de forage.*

- 91. Détermination de la déviation de la verticale.
- 92. Diamétrage.

REPORT OF ACTIVITIES 1954-1957

1. *Composition of the Committee.*

In 1954 the committee consisted of:

Chairman: J.B. Schijf, Rijkswaterstaat, The Hague

Members: H. Bircher, Service fédéral des eaux, Bern

W.B. Langbein, U.S. Geological Survey, Washington D.C.

In June 1955 mr. Bircher has retired from his position with the Service fédéral des eaux and also from the committee. He has been replaced by Mr. E. Walser. As a result of this the composition of the committee at this date is

Chairman: J.B. Schijf, Rijkswaterstaat, the Hague

Members: W.B. Langbein, U.S. Geological Survey, Washington D.C.

E. Walser, Service fédéral des eaux, Bern.

2. *Classification of instruments.*

At the Assembly at Rome in September 1954 it has been decided to extend the scope of the committee, which hitherto was confined to field instruments for observation in rivers, channels and lakes, also to field-instruments for ground-water hydrology. A classification for this category has been drawn up on the same general principles as the classification for surface water instruments. Both classifications have been appended to this report.

3. *Corresponding members.*

In accordance with the policy agreed upon by the 1954 Assembly a number to



corresponding members have been appointed. From the following countries—apart from the Netherlands, Switzerland and U.S.A.—the cooperation has thus been obtained:

Argentina	Austria
Belgium	Brasil
Bulgaria	Canada
Chile	Columbia
Ecuador	France
Germany	Israël
Japan	Peru
Rumania	Sweden
United Kingdom	Uruguay
Venezuela	

#### 4. *Collecting of information.*

A start has been made with the collecting of information from which the inventory of instruments will be built up. From several countries a list of instruments has been received. The majority of the corresponding members however has not yet sent in their contributions. Although some of the data collected so far are very valuable, the harvest to this date is far too meagre to warrant the compilation of an inventory. This is mostly due to the delays inherent in the exchange of written communications between a number of persons, all of whom have many activities and responsibilities.

It is hoped however, that it will be possible to present at least a first instalment of the inventory in the near future.

#### 5. *Recommendation.*

It is recommended that the committee shall pursue its activities along the general lines followed up till now.

ir. J.B. SCHIJF  
*Chairman of the Committee.*

### CLASSIFICATION OF MEASURING INSTRUMENTS.

1. Determination of depth.
2.       »       » waterlevel.
3.       »       » velocity and discharge.
4.       »       » the physicochemical composition of the water.
5.       »       » the content of solids.
6. Direct measurement of the transport of solid matter.
7. Taking of water-samples.
8.       »       » bottom-samples.
9. Combined instruments and instruments of a particular nature.

#### SUBCLASSIFICATION.

1. *Determination of depth.*
11. Sounding by hand (pole or lead).

- 12. Mechanical instruments.
- 13. Echo-sounders.

## 2. *Determination of waterlevel.*

- 21. Gauges for visual reading.
- 22. Float-gauges.
  - 221. Mechanical transmission.
  - 222. Electrical »
  - 223. Transmission by radio.
- 23. Pneumatical gauges.
- 24. Gauges with pressure-unit.
- 25. » » electrical detection.

## 3. *Determination of velocity and discharge*

- 31. Velocity measurement of objects or physical properties. moving with the current.
  - 311. Methods in which physical or chemical means of detection are applied to materials introduced into the water.
  - 312. Floats.
- 32. Velocity measurement by pressure differences on bodies of suitable shape.
  - 321. Pitot-tubes and similar apparatus.
  - 322. Free Venturi meters and similar apparatus.
- 33. Velocity measurement by means of the drag on bodies of suitable shape.
  - 331. Pendulum current meters (counteraction by gravity).
  - 339. Counteraction by other agents (e.g. a spring)
- 34. Rotary current-meters.
  - 341. Axis parallel to the current.
  - 342. » perpendicular to the current.
- 39. Other methods.

## 4. *Determination of the physico-chemical composition of the water.*

- 41. Chemical analysis.
- 42. Measurement of density.
  - 421. Apparatus for use on single samples (areometer, pycnometer etc.)
  - 422. Apparatus for use on composite samples (e.g. pycnosonde)
- 43. Measurement of electrical conductivity.
  - 431. Apparatus for use on samples.
  - 432. » » direct measurement.
- 44. Measurement of temperature.
  - 441. Ordinary thermometers.
  - 442. Reversing thermometers.

## 5. *Determination of the content of solids.*

- 51. Setting apparatus for volumetrical determination.
- 52. Apparatus for filtration, centrifugation and weighing.
- 53. Apparatus for determination of the optical absorption or reflection.

## 6. *Direct measurement of transport of solid matter.*

- 61. Measurement of bed-load transport.
- 62. » » » the transport of particles in turbulent suspension.

- 621. Instruments with free flow
- 622.       »       » forced flow.

7. *Taking of water-samples.*

- 71. Through-flow instruments.
- 72. Inflow instruments.

8. *Taking of bottom-samples.*

- 81. Grabs.
- 82. Drilling and boring apparatus.

## CLASSIFICATION OF INSTRUMENTS FOR GEO-HYDROLOGICAL FIELD INVESTIGATIONS.

1. *Determination of the presence of groundwater.*

- 11. Geophysical methods.
  - 111. Geo-electrical methods.
  - 112. Seismic methods.
  - 113. Magnetic methods.
  - 114. Gravitational methods.
- 12. Other methods.

2. *Determination of the groundwater level, — potentia, — tension.*

- 21. Measurements of the free water surface in wells or boreholes.
  - 211. Sounding by hand.
  - 2112. Tape or pole.
  - 2113. Electrical recorder (recording when in contact with water surface).
  - 212. Self-recording level recorder.
- 22. Tensiometers (see also 75).
- 23. Resistance blocks (see also 721).
- 24. Determination of groundwater level by geophysical methods (see also 11).

3. *Determination of the velocity of the groundwater movement.*

- 31. Use of soluble chemicals, dyes etc.
- 32. Use of radio-active media.
- 33. Other methods.

4. *Determination of the chemical composition in particular the Cl<sup>-</sup>-content of the groundwater.*

- 41. Geo-electrical measurements in the field.
- 42. Electrical measurement of the conductivity of the water in a borehole.
- 43. Laboratory analysis.

5. *Determination of the permeability of the aquifer in situ or of the transmissibility of aquifers etc.*
  51. Investigation by creating a ground-water flow.
    511. Pumping-tests on wells.
    512. Piezometric methods.
      5121. Use of boreholes without casing (auger holes, etc.).
      5122. Use of boreholes with casing; flow to or from a point source.
  52. Geo-electrical methods; geo-electrical well-logging.
  53. Use of radio-active media in boreholes; radio-active logging.
  54. Determination of permeability by laboratory methods.
6. *Determination of the infiltration capacity of the soil.*
  61. Infiltrometers.
  62. Other methods.
7. *Determination of the moisture-content of the soil.*
  71. Direct measurements.
  72. Electrical determination in situ.
    721. Resistance blocks (see also 23).
    722. Other methods.
  73. Methods based on the determination of the heat conductivity of the soil.
  74. Use of radio-active media.
  75. Tensiometers (see also 22).
8. *Determination of the porosity or the storage capacity of the soil at a certain moisture content.*
  81. By field pumping-tests.
  82. Volume meters.
    821. Volume meters filled with a gas.
    822. » » » » water.
  83. Other methods.
9. *Checking technique of boreholes.*
  91. Determination of the deviation from the perpendicular.
  92. Caliper logging.

# NEW TYPES OF WATER LEVEL RECORDERS

## A. RECORDER OPERATING 8 MONTHS WITHOUT SUPERVISION

## B. MULTIPLE PURPOSE RECORDER OPERATING 10 TO 60 DAYS WITHOUT SUPERVISION

M. GOLDSCHMIDT, Israel

The Israel Hydrological Service is faced with the following problem:

Gauging sites equipped with water level recorders have been and/or are being established at key positions on all the (few) perennial and the numerous seasonal and ephemeral water courses, on the many major springs and in numerous observation wells. In many cases, communication to the site is difficult and always costly. Well trained personnel is scarce. The climatical conditions are rather extreme. The difference between day- and night air temperature is very great; due to cooling during the nights of the rainy season in winter, condensation of water in the instrument shelter is a permanent menace.

In order to overcome the difficulties resulting from these severe conditions, two types of float-operated vertical water level recorders have been designed and are manufactured by the workshops of the Service.

### A. VERTICAL ENDLESS TAPE WATER LEVEL RECORDER. ((Fig. 1)

The 230 mm high non-perforated tape is stored on a vertical storage cylinder. It is moved by the timing cylinder at the rate of 2 mm per hour. The time scale can be altered by changing gear wheels of the clockwork. The marked paper is stored on the diagram storage cylinder. It contains a spring which assists the pull of the clockwork. The movement of the timing cylinder is transferred to the tape by friction, without slip.

The timing cylinder is set in motion by a mechanical clockwork which requires re-winding at intervals up to 8 months. The marking device is moved by an up-and-down 200 mm long screw. It is reversed whenever it reaches the end of the up-and-down travel along the screw. This reversal entails a systematical marking error of less than 0.5 mm per each 200 mm of travel. This error is calibrated for each individual instrument. Standard ratios for water levels: 1:5 and 1:10. They are exchangeable by exchange of endless screw and pinion.

Marking is effected by means of a metal stylus which writes on the waxed paper endless tape, of a special brand for tropical climates. The marking pressure amounts to a few decagrammes and can easily be regulated. The line marked by the stylus is approximately 0.2 mm thick and the water levels are marked with an approximate error of  $\pm 5$  mm. By using waxed paper and a metal stylus, the difficulties experienced with ink- and pencil marking have been overcome. Furthermore, over-all friction has been reduced to such an extent that a float of only 200 mm diameter operates the instrument at the above quoted accuracy.

A base marker and a top marker — not shown in Fig. 1 — draw horizontal lines along the possible lowest and highest positions of the marking device. They provide a permanent check of the vertical (water level) scale.





Fig. 2 Vertical endless tape  
water level recorder



Fig. 1 Vertical drum  
water level recorder, type I

The endless screw which operates the marking device is actuated by the main shaft of the pulley on which the float suspension thread is wound. The float is suspended on a 0.3 mm chromium-nickel-steel wire; for very deep sited water levels, invar steel wire is used instead.

The counterweight is replaced by a counter spring (coil). The inaccuracy due to the variation of the force of the spring is so small that it can hardly be noticed on the diagram. The great advantage of the counterspring is easy installation of the instrument and avoiding the risk of twisting threads of float and counterweight.

Lately, a *radio operated time marking device* has been developed. It is operated by the carrier wave of the Israel medium wave Broadcasting Service and makes a tiny mark whenever the carrier wave goes on the air. The proto type of the receiver with its antenna is shown on Fig. 3 and 4. The receiver consumes at each operation 1/2 M.A., and the relay- 2 MA. The energy is supplied by a 9 V dry-cell battery. Its time of operation under the above conditions equals its shelf-life. The time mark can be made either by the base marker, by the top marker or by the recording device.

The water level recorder is housed in an airtight instrument casing — outside measures approximately 20 cm × 16 cm × 42 cm — . The atmosphere inside the

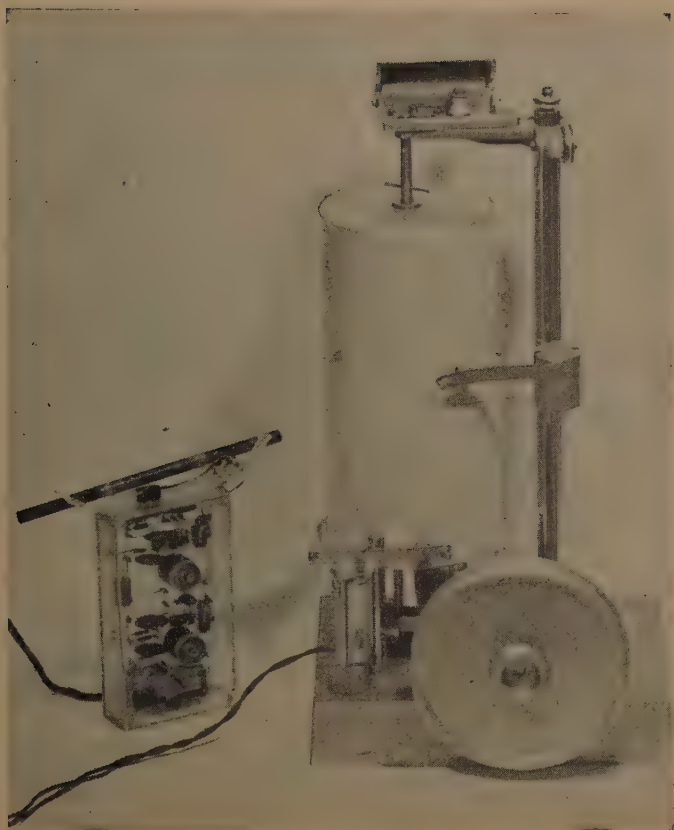


Fig. 3 Vertical drum water level recorder, type II, with radio operated time marking device

casing is dissipated by silica gel which is kept in a special container which is part of the instrument casing. The float pulley is outside the casing. The pulley shaft penetrates its wall. The outside air is prevented from penetrating into the instrument casing by means of greased cotton wool or glass wool, packed around the pulley shaft. The load of silica gel is sufficient for keeping the air in the casing dry during the whole period of 8 months.

The tape water level recorder has successfully been tried out in the field under adverse climatic conditions and at distant sites on rivers, ephemeral streams and reservoirs.

#### B. VERTICAL DRUM WATER LEVEL RECORDER (Fig. 2 to 4).

This instrument is a multiple purpose recorder. It is much less complicated and

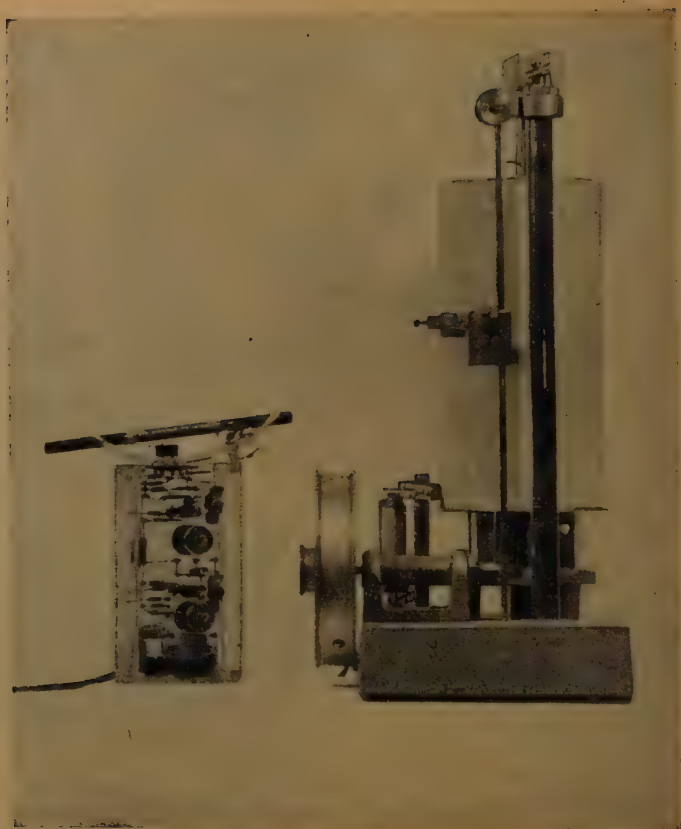


Fig. 4 Vertical drum water level recorder, type II, with radio operated time marking device

less expensive than the endless tape recorder. The intervals between winding up of clock are 10 or 60 days.

Dimensions of drum: Circumference 360 mm; height 230 mm. Time scales as per following table:

Sub-type	Revs. per day	Time scale mm p.h.	Time of operation of clock
a	1	15.0	10 days
b	7	2.15	60 »
c	14	1.07	» »
d	28	0.54	» »
e	56	0.27	» »

Sub-type a is primarily meant for tidal gauges and for gauging sites on «small catchments», sub-type c — for ephemeral streams, medium to large catchments, sub-types e and f — for spring — and underground water gauging sites.

Marking by means of a metal stylus on waxed paper chart similar to that used for endless tape recorders. In addition to the water level marking device, a base marker and a top marker are provided for.

The marking device is set in motion either by means of an endless screw (type I, fig. 2); scales 1:5 and 1:10, easily exchangeable by exchange of crown wheel and pinion, or by a thread transmission (type II, fig. 3, 4) — scales 1:2, 1:10, 1:20, 1:30. Scales changed by exchange of pulley on float-shaft. In case of using thread transmission (type II), the recording device can be dropped after each drum revolution at the rate of approximately 5 mm. Thus it is possible to distinguish between the diagrams in case the chart remains on the drum during more than one revolution.

Types I and II can easily be transformed into each other by exchange of a few essential parts.

Scales 1:2 and 1:5 are primarily intended for spring- and underground water gauging sites, the other scales for any other purposes.

Re float, float suspension, radio operated time marker and counter spring, vide description of the endless tape recorder. If the range of the water levels is excessive, the counter spring can be replaced by a counterweight.

The drum recorder is not housed in an instrument casing. Therefore, the instrument shelter should carefully be designed in order to avoid condensation of water on the instrument, the chart, roof and walls of the shelter.

# QUELQUES APPLICATIONS DE LA CONDUCTIVITÉ A L'HYDROLOGIE

JACQUES BONNIN

*Direction des Etudes & Recherches ELECTRICITE DE FRANCE*

## RÉSUMÉ

La conductivité des eaux courantes varie sensiblement en fonction du débit, de la distance aux sources, et surtout des divers paramètres géologiques du bassin versant. La fidélité de ces variations a conduit divers services de l'Electricité de France à les utiliser à des fins hydrologiques et géo-hydrologiques.

L'influence de la dissolution des roches sur la conductivité des eaux a été prouvée tant au Laboratoire que dans la nature. On peut prévoir quantitativement les variations de la conductivité en fonction du débit et de la distance à une origine arbitraire, variations qui concordent bien avec celles observées sur des cours d'eau réels ainsi que dans des montages expérimentaux. Les valeurs des constantes de ces lois, obtenues par nos mesures, mettent en évidence une fausse saturation dont l'explication physique a reçu la confirmation de l'expérience.

Pour des bassins versants géologiquement à peu près homogènes ou pour des périodes relativement courtes dans le cas de bassins hétérogènes, la mesure de la conductivité peut fournir une valeur correcte du débit.

Des anomalies dans les variations longitudinales de la conductivité ont permis de déceler de multiples cas de résurgences occultes, principalement dans les Pyrénées Françaises; les lois du mélange de plusieurs eaux sont utilisées actuellement pour le jaugeage d'une importante résurgence dans les Alpes Françaises.

## INTRODUCTION

Pendant longtemps l'hydrologue avait seulement à s'intéresser aux caractéristiques quantitatives des eaux qu'il étudiait, et, plus récemment, aux grandeurs statistiques qui leur étaient attachées. Il semble que maintenant, il soit nécessaire, pour une connaissance plus complète de l'hydrologie d'un pays, d'un bassin ou même d'un simple cours d'eau, de s'attacher à d'autres grandeurs physiques qui peuvent soit caractériser les eaux d'un cours d'eau particulier, soit, par leurs variations dans le temps ou dans l'espace, donner des indications utiles sur l'évolution des débits ou sur les développements du réseau hydrologique souterrain ou de surface.

Parmi ces grandeurs, la résistivité (ou la conductivité) des eaux naturelles, se signale par son extrême variabilité. Aussi l'ELECTRICITE DE FRANCE s'est-elle attachée à développer les mesures de résistivité des eaux courantes dans différents secteurs témoins, soit à l'occasion de travaux d'hydrologie pure, soit de recherches de caractère plus général. C'est, en quelque sorte, un aperçu de l'état actuel des travaux relatifs à cette question que nous allons présenter ici.

## JAUGEAGES

Le premier à notre connaissance, l'Ingénieur Italien BARLAGELATA a eu l'idée de mesurer le débit des cours d'eau en notant leur variation de conductivité lorsque l'on injecte une solution saline. La méthode de BARLAGELATA constitue un cas particulier des méthodes de jaugeage par dilution, dont la plus connue encore à l'heure actuelle est celle dite « méthode chimique », qui consiste à injecter un sel convenablement choisi (par exemple : bichromate de potassium, sulfate de manganèse, nitrite de sodium, etc...) dont le dosage est ensuite assuré soit par analyse chimique, soit plus récemment par colorimétrie.



Précurseur dans la voie chimico-électrique de mesure des débits, BARLAGELATA n'a eu qu'un succès modéré, eu égard aux précisions modestes des appareils existant alors pour la mesure de la conductivité électrique des liquides.

Dans cette voie, nous avons cherché essentiellement à améliorer la précision des mesures, afin de rendre possible la généralisation des jaugeages par voie chimico-électrique non seulement en rivière, mais aussi dans les aménagements hydroélectriques, dans le but de contrôler les rendements des turbines. Nous avons été conduits à opérer sur des échantillons prélevés en rivière, et non plus par circulation continue du fluide sur les électrodes de mesure, procédé conservé par contre pour les mesures de précision en usine.

Le double but visé nous a amenés d'une part à étudier de façon détaillée la résistivité des eaux naturelles et ses variations, et d'autre part à créer un appareillage de mesure susceptible d'une précision élevée afin d'obtenir la précision voulue avec un débit de sel injecté aussi faible que possible.

#### RESISTIVIMETRE DE PRECISION

C'est au Laboratoire de la Division « Essais Extérieurs », attachée à la DIRECTION DES ETUDES & RECHERCHES D'ELECTRICITE DE FRANCE, que cet appareil a été conçu, réalisé et mis au point. Il en existe actuellement trois exemplaires utilisés respectivement au Laboratoire (Chatou), dans les Alpes (Centre expérimental du Sautet) et dans les Pyrénées (Laboratoire du Service «Hydrologie» E.D.F Pyrénées à Argelès-Gazost). Le principe de mesure est l'équilibrage d'un pont de KOLRAUSCH sur les composantes « résistance » et « capacité », de manière à obtenir à l'organe détecteur un vrai zéro. L'appareil est alimenté en fréquence stabilisée de 1 kHz et le pont de mesure comporte des filtres en double T accordés sur cette fréquence et montés sur un circuit de contre-réaction, ce qui permet d'éliminer tout courant parasite avec une excellente sélectivité.

Grâce à cet appareil les jaugeages par méthode de dilution s'opèrent maintenant couramment avec des quantités réduites de chlorure de sodium; plus d'un millier de jaugeages ont déjà été effectués dans ces conditions, tant dans les Pyrénées, que dans les Alpes et ont donné d'excellents résultats.

De surcroît, nous continuons à injecter une solution faiblement concentrée de bichromate de potassium ce qui nous permet, avec une injection unique (la solution mère contenant simultanément le chlorure de sodium et le bichromate de potassium), d'effectuer deux analyses des prélèvements, l'une par colorimétrie du bichromate sensibilisé par le diphenylcarbazine, l'autre par conductivité du mélange, la conductivité due au bichromate étant faible devant celle due au chlorure de sodium et variant suivant la même loi.

La précision de cet appareil a été déterminée en fonction de la définition même de la conductivité des eaux naturelles. Pour cela, nous avons procédé à des séries de mesures du type de celles représentées par la fig. 1. Au moyen d'un montage provisoire doué d'une sensibilité de  $10^{-5}$  (soit 0,1  $\omega$  sur 10.000  $\omega$ ) et ne subissant qu'une dérive très lente en fonction du temps. Nous avons effectué un grand nombre de mesures consécutives, comme par exemple sur le Drac au Pont de la Guinguette le 22 février 1953. Nous avons observé des fluctuations naturelles rapides de la résistivité, pouvant atteindre 0,5  $\omega$ , soit  $10^{-4}$  environne la grandeur mesurée.

La précision du résistivimètre, qui dépend en particulier de sa sensibilité et de l'exactitude des résistances étalons, a été limitée à des valeurs comprises entre  $3.10^{-5}$  et  $10^{-4}$  suivant la résistivité des eaux étudiées.

Notons que, si l'on injecte localement une solution saline, on trouve en aval

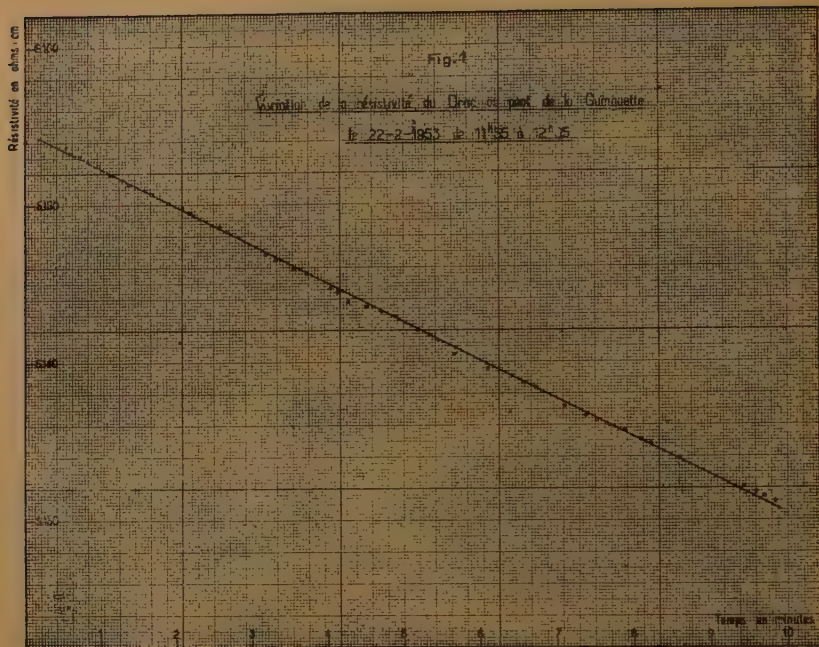


Fig. 1

des fluctuations de conductivité bien supérieures à  $10^{-4}$ , nécessitant d'augmenter la longueur de la zone de mélange si l'on désire une grande précision.

#### *Variations naturelles de conductivité*

Si la conductivité de l'eau est relativement très bien définie en un point à un instant donné, elle varie soit en ce point en fonction du temps, soit à un même instant et suivant le point de mesure. Ces variations sont dues, comme a prouvé M. WALTON H. DURUM, à la dissolution plus ou moins abondante des corps minéraux arrachés par le cours d'eau à son lit.

Le fait que la dissolution des matériaux constitutifs du lit soit à l'origine de la conductivité des eaux devrait, théoriquement, être mis en évidence par un gradient de conductivité positif de la surface vers le fond. En réalité, on peut calculer que ce gradient est extrêmement faible (de l'ordre de  $10^{-3}$  à  $10^{-5}$  suivant les cours d'eau) et que, fort heureusement, il ne perturbe en général pas la précision de nos jaugeages; on peut d'ailleurs l'éliminer d'une façon simple. Des expériences sont actuellement en cours pour, sinon le déterminer avec précision, tout au moins mettre en évidence son signe et son ordre de grandeur.

Abstraction faite de faibles variations de conductivité dans une section déterminée, nous nous attacherons essentiellement à l'étude des variations de conductivité en fonction de l'abscisse d'un cours d'eau (à débit constant) et d'autre part du débit pour un point fixe. Nous éliminerons l'influence de la température de l'eau, qui était la cause de la lente variation observée sur la fig. 1. en effectuant les mesures sur prélèvements rapportés au laboratoire à une température rigoureusement con-

stante (à 1/50 de degré C près). Nos mesures ont été complétées par des expériences systématiques en laboratoire, consistant essentiellement à faire couler soit de l'eau distillée, soit une eau de conductivité connue, dans un tube de section constante et contenant des débris de roches concassés. Dans tout ce qui suit, nous exprimerons les conductivités en micromhos (1 micromho =  $10^{-6}$  ohm $^{-1}$ ).

La première hypothèse que nous ayons dû faire est celle de la proportionnalité entre la vitesse de dissolution des roches et l'écart entre la concentration actuelle et la concentration de saturation. Comme toutes les concentrations sont faibles (les conductivités dépassent rarement 250 micromhos) il y a proportionnalité à peu près rigoureuse entre conductivité et concentration et notre hypothèse s'écrit :

$$\frac{d\lambda}{dt} = k \frac{f(Q)}{Q} g(V) (\lambda_m - \lambda) \quad (1)$$

dans laquelle  $\lambda_m$  représente la conductivité maximum c'est-à-dire celle correspondant à la saturation des eaux (il peut s'agir d'une fausse saturation comme nous le montrerons plus loin); Q est le débit de l'eau, V la vitesse. La présence de Q au dénominateur montre que la quantité de matière dissoute est diluée dans le débit Q.

Si l'on expérimente dans des conditions où les différents éléments hydrauliques, géométriques, géologiques restent invariables, ce qui était le cas dans nos expériences de laboratoire ainsi que dans certaines études le long de cours d'eau particulièrement uniformes, l'équation (1) s'intègre pour donner la forme :

$$\text{Lof } \frac{\lambda_m - \lambda_0}{\lambda_m - \lambda} = \phi(Q) (x - x_0) \quad (2)$$

où  $\lambda_0$  est la conductivité initiale de l'eau c'est-à-dire celle qu'elle avait à l'abscisse  $x_0$  amont du tronçon étudié.

Cette équation s'est trouvée bien vérifiée tant au laboratoire que dans les cas d'écoulements naturels où la condition d'uniformité (et en particulier de constance du débit) se trouvait à peu près vérifiée, justifiant ainsi l'hypothèse que nous avions formulée.

Nous avons recherché également à lier la conductivité au débit. Ici le problème est plus complexe et les hypothèses que l'on pourrait faire sont beaucoup plus difficiles à justifier sur le plan théorique comme par expériences, et ont d'ailleurs un caractère beaucoup moins général. Plusieurs méthodes ont été adoptées pour déterminer la loi  $\phi(Q)$ , soit en procédant sur un même cours d'eau à un grand nombre d'analyses de sels dissous, soit en opérant au laboratoire, soit enfin en déterminant la constante de l'équation (2) pour un certain nombre de débits sur un même tronçon de cours d'eau uniforme.

a) Des formes théoriques de la fonction  $\phi(Q)$  peuvent être trouvées en supposant que la vitesse de dissolution de l'eau au contact d'une roche varie comme une certaine puissance  $\alpha$  de la vitesse, et proportionnellement au périmètre mouillé, ces deux grandeurs étant liées elles-mêmes au débit et à la hauteur d'eau par des fonctions monomes, tout au moins en première approximation, comme l'a montré un hydrologue Hongrois M. LASZLOFFY. On obtient ainsi pour la loi  $\phi(Q)$  une fonction de la forme  $K' Q^n$  dans laquelle  $n = (0,5 \text{ à } 0,7) (\alpha - 1) + (0 \text{ à } 0,25) - 1$ . La valeur assez plausible  $\alpha = 1$  conduit pour  $n$  à des valeurs comprises entre  $-0,75$  et  $-1$ .

b) Le Service « Hydrologie » d'ELECTRICITE DE FRANCE dans les Pyrénées, sous la direction de M. RAVIER, a effectué dans son laboratoire d'Argelès-Gazost plus de 60 analyses sur des échantillons prélevés dans le Gave d'Arrens à la station du lac de Suyen entre 1951 et 1956. Le résultat de ces mesures est donné par la fig. 2 et montre que le débit en sel dissous varie très sensiblement comme la puissance  $5/6$  du débit d'eau. Par suite la concentration, et donc la conductivité, varie comme



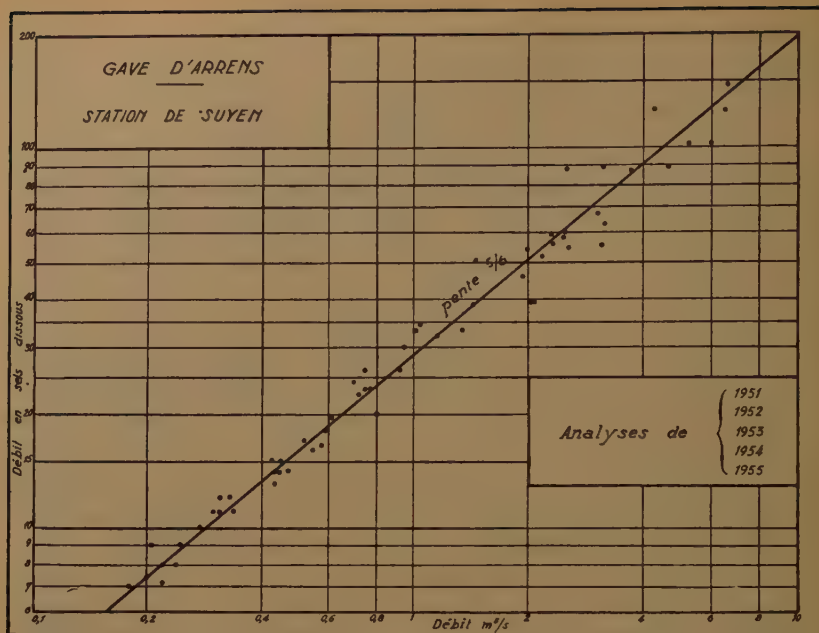


Fig. 2

la puissance —  $1/6$  du débit, à une constante additive près. Ceci peut paraître en contradiction avec le résultat obtenu au paragraphe précédent; toutefois, il ne faut pas perdre de vue que les coefficients peuvent être très variables d'un cours d'eau à un autre, et que les lois de variations devraient être déterminées pour chaque cours d'eau tout au moins tant que nous ne disposerons pas de critères suffisants pour déterminer ces lois à priori, compte tenu d'autres caractéristiques physiques.

c) Nous avons également recherché en laboratoire à reproduire des variations de conductivité en fonction du débit en opérant comme il a été dit plus haut. Ces expériences ont été effectuées au Laboratoire d'Argelès-Gazost avec la collaboration de M. RAVIER. La fig. 3 reproduit le détail d'une série de mesures pour laquelle on a opéré sur des calcschistes de granulométrie 3,15 à 12,5 mm. Dans chaque cas on observe en fonction du temps une évolution de la conductivité vers une valeur limite, suivant la loi logarithmique déduite de celle que nous avons montrée plus haut en fonction de l'espace. L'une de ces expériences est résumée sur la fig. 4, qui met en évidence, d'une part une variation de conductivité limite proportionnelle à une puissance à  $1/9$  ou  $1/10$  du débit et, d'autre part, une influence négligeable de la température (le point 4 a été obtenu à une température de  $35^{\circ}\text{C}$  et les autres à  $18^{\circ}\text{C}$ ).

De cette expérience on peut déduire pour l'exposant  $\alpha$  du paragraphe a) une valeur voisine de 0,9. Par contre en opérant en octobre 1956 avec du calcaire noir de Viger et dans les mêmes conditions avec une granulométrie de 4 à 15 mm, nous avons obtenu pour  $\alpha$  une valeur voisine de 0. On voit que les expériences de laboratoire semblent soulever déjà des difficultés d'interprétation du même ordre que les observations dans la nature une grande dispersion qu'on peut obtenir entre différentes lois de variation des conductivités en fonction des débits.

# INFLUENCE DE LA VITESSE DE FILTRATION

5 Mars 1934

Calcschiste :  $\phi$  3,15 à 12,5 mm.

Eau distillée :  $\lambda_0 = 5,3$  micromhos

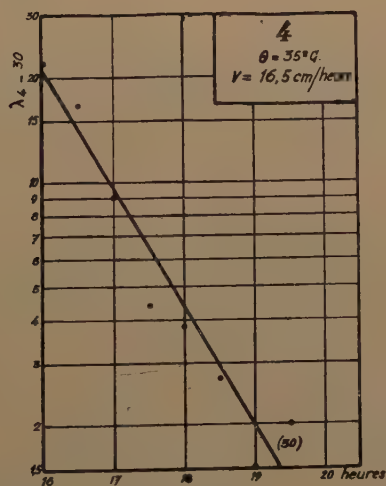
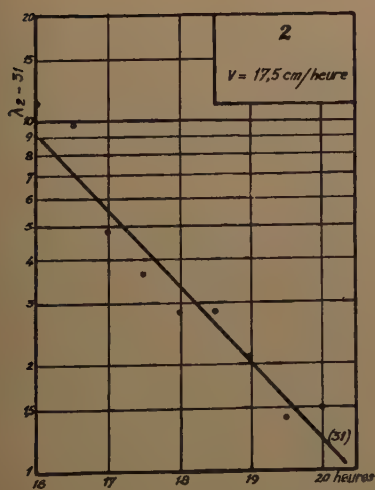
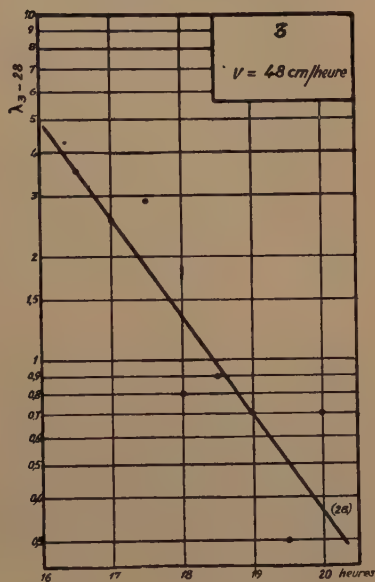
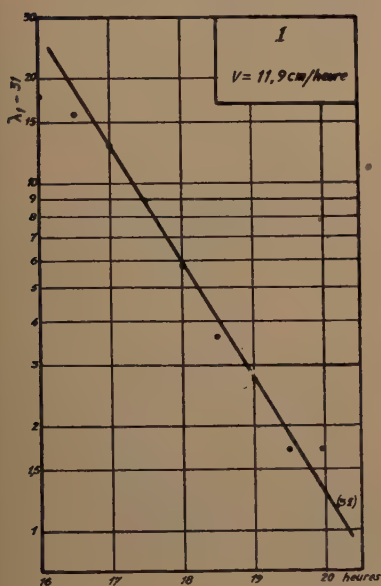


Fig. 3



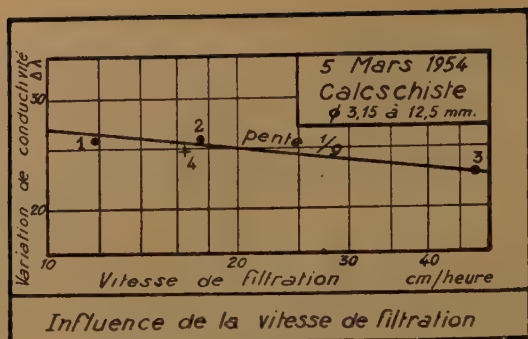


Fig. 4

d) Enfin nous avons cherché à déterminer l'influence du débit en étudiant un certain nombre de profils en long de conductivité. Le cours d'eau choisi était le Gave de Pau en amont et en aval de Lourdes (Htes Pyrénées) très exactement entre le pont de Tilhos, à proximité d'Argelès-Gazost, et le pont de Coarraze, soit sur une distance de 35 km environ, sur laquelle le Gave coule essentiellement sur des terrains détritiques en majeure partie constitués par des dépôts morainiques.

Entre décembre 1951 et octobre 1956 nous avons pu retenir huit courbes de variation longitudinale de conductivité, correspondant à des conditions suffisamment uniformes, et dont l'analyse a conduit à la forme :

$$\frac{d(\log \lambda)}{dx} = \frac{0,218}{Q^{-2/3}} \quad (Q \text{ en m}^3/\text{s}) \quad (3)$$

cet exposant  $2/3$ , compatible avec les autres valeurs trouvées, n'est d'ailleurs qu'approximatif. En l'appliquant aux mesures effectuées sur le même Gave de Pau à la station de Geu-Pibeste pendant la crue de mars 1951, on obtient, comme le montre la fig. 5, une droite représentant bien la loi cherchée par la forme :

$$\log \frac{130}{175 - \lambda} = \frac{1,08}{Q^{2/3}} \quad (4)$$

Dans ce cas particulier, la connaissance de la conductivité est suffisante pour déterminer le débit du cours d'eau à 2 ou 3 % près. Ce résultat, nouveau en hydrologie, ne doit pas être généralisé sans précaution, car sur des périodes plus longues une moins bonne homogénéité de la distribution des pluies entraîne des dispersions plus importantes. Dans l'exemple que nous avons donné pour le Gave d'Arrens, (cf fig. 2), la dispersion des analyses autour de la droite moyenne conduirait à admettre une erreur de  $\pm 10\%$  sur les débits inférieurs à  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  et un peu plus pour les débits supérieurs.

Pour le Gave de Pau, dont le bassin versant est beaucoup plus étendu (de l'ordre de  $1000 \text{ km}^2$ ) et d'une géologie assez variée, on observe une grande dispersion des résistivités en fonction des débits. Toutefois, il est possible de classer les points de mesure par périodes de manière à réduire cette dispersion. Ceci correspond au fait que, suivant l'époque de l'année hydrologique, les débits relatifs aux différents affluents ne représentent pas la même fraction du débit total, mais que cette fraction varie beaucoup moins (par exemple si on groupe entre eux tous les mois d'hiver)

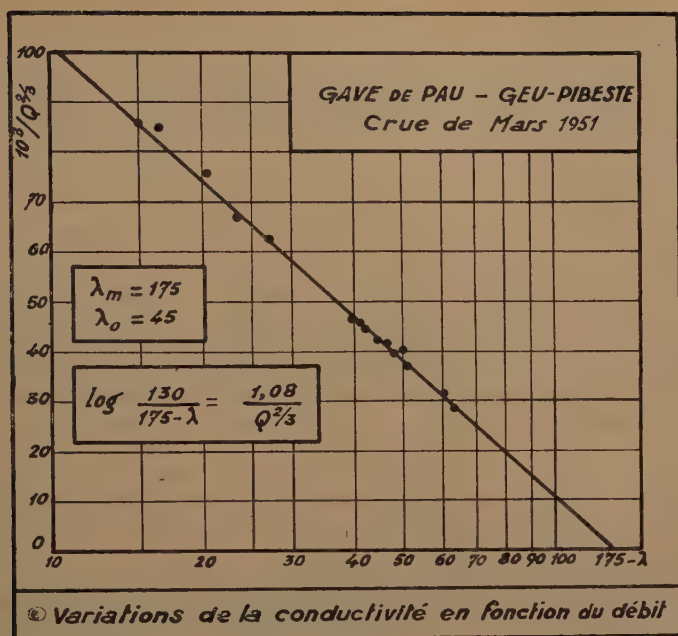


Fig. 5

si le type d'apport est le même; on retrouve alors une corrélation assez bonne entre débit et résistivité.

REMARQUE SUR LES VALEURS OBTENUES POUR LA SATURATION — FAUSSE SATURATION —  
VERIFICATION EXPERIMENTALE.

On peut trouver anormal de considérer comme saturées des eaux dont la résistivité est encore de l'ordre de 4 à 6.000 ohms/cm., en particulier lorsque ces eaux contiennent une faible quantité de chlorure de sodium. Ce sel, en effet, est très soluble et, de plus, son ionisation conduit à augmenter fortement la conductivité de l'eau. Nous avons observé à 18°, sur de l'eau saturée de sel gemme de Dax, une résistivité voisine de 8 ohms/cm. Il en est d'ailleurs ainsi, quoiqu'à un degré moindre, pour un certain nombre d'autres sels que l'on rencontre dans les eaux naturelles.

En réalité, nous pensons qu'il s'agit là d'une fausse saturation qui n'est pas contradictoire avec les hypothèses que nous avons faites. Cette fausse saturation peut s'expliquer de la manière suivante : les roches, même les plus réfractaires à la dissolution de l'eau, peuvent contenir en petite quantité un sel très soluble, mais sous une forme enrobée, c'est-à-dire que ce sel serait protégé par des corps beaucoup moins solubles et beaucoup moins actifs sur la conductivité de l'eau.

Ceci est confirmé par nos expériences, et explique les premiers échecs que nous avons subis en essayant de reconstituer au laboratoire le phénomène de dissolution.

Si l'on opère avec de l'eau distillée et des roches prises à l'état naturel, par exemple

des galets prélevés dans un lit torrentiel, on obtient une certaine valeur de la conductivité.

Lorsque l'on a pris soin de concasser le matériau au préalable, pour lui donner une granulométrie à peu près uniforme, la conductivité obtenue est toujours beaucoup plus forte. Cette augmentation de la conductivité disparaît partiellement ou totalement si on lave soigneusement les pierres concassées d'abord à grande eau puis avec de l'eau distillée.

#### UTILISATION DES VARIATIONS NORMALES DE CONDUCTIVITE

On voit que nos études ont encore des progrès à faire pour qu'une simple mesure de conductivité permette d'obtenir le débit qui est la première valeur désirée par tout hydrologue. D'autres applications des variations de conductivité, en harmonie avec celles que nous avons prévues, ont déjà été faites dans les Alpes. Par exemple, nous retrouvons une bonne corrélation entre le débit et la conductivité pour le Drac à la station Guinguette, pour la Séveraise à Saint Firmin ainsi que pour la Souloise à l'Infernet.

Une autre propriété des conductivités que nous n'avons pas eu l'occasion de souligner plus haut est la proportionnalité observée lors d'un mélange à un confluent. La conductivité résultante est alors la moyenne (pondérée en fonction des débits) des conductivités des deux affluents.

Par ce procédé nous étudions actuellement dans les Alpes une importante résurgence vaclusienne : la source des Gillardes, qui prend naissance à quelques mètres seulement de la Souloise à faible distance de la station de jaugeage de l'Infernet ; la mesure directe de son débit serait impossible sans effectuer de gros frais (constitution d'une station déversoir ou d'un jaugeur à ressaut). L'utilisation de mesures précises de résistivité nous conduit à déterminer le rapport entre le débit de cette source et celui de la Souloise pour laquelle elle constitue l'apport essentiel. La mesure des températures autour du confluent conduit d'ailleurs aux mêmes résultats, mais avec une précision bien moindre.

Si on extrapole vers l'amont la loi logarithmique de conductivité obtenue sur un tronçon suffisamment uniforme d'un cours d'eau, on peut calculer la distance à laquelle on obtiendrait une résistivité infinie, ou tout au moins correspondant à une eau très pure. Cette distance correspondant dans son principe à celle d'une source unique équivalente.

Le calcul, effectué sur le Gave de Pau en amont du Pont de Tilhos, a donné des résultats voisins d'une cinquantaine de kilomètres. Or, précisément, les sources du Gave de Pau et de ses principaux affluents sont toutes situées à des distances comprises entre 40 et 60 km. Une telle extrapolation pourrait être utilisée à des fins d'investigation en hydrologie soit si l'on opère dans des zones inexplorées ou inaccessibles soit en particulier pour des rivières souterraines. Nous aurions été heureux de pouvoir l'appliquer à la rivière Saint-Vincent, ainsi baptisée par M. RAVIER qui pour la première fois l'atteignit en explorant le Trou du Renard en 1952. Cette rivière passe au fond du gouffre Lépineux (à la Pierre Saint-Martin), puis au fond du Trou du Renard et débouche ensuite dans le Gave de Sainte Engrâce au fond de la grotte de Bentia explorée autrefois par MARTEL.

Malheureusement la géologie de cette région des Pyrénées n'est pas suffisamment homogène pour que l'on puisse depuis des mesures de résistivité une localisation même approximative des sources de cette rivière. D'ailleurs l'utilisation des mesures dont nous disposons conduirait, si l'on voulait supposer une géologie homogène, à des résultats inadmissibles.

Lorsque l'on suit la variation longitudinale de conductivité d'un cours d'eau, il arrive que l'on observe des variations brusques en certains points fixes; ces variations peuvent trouver une explication immédiate si l'on observe soit un affluent de faible importance relative mais souvent non porté sur la carte, soit la restitution d'une eau usée. Dans d'autre cas, rien d'apparent ne nous permet d'expliquer cette variation brusque. Il faut alors chercher une cause cachée qui est presque toujours une résurgence invisible. De nombreuses résurgences inconnues ainsi ont été mises en évidence au cours de ces dernières années dans les Pyrénées par M. RAVIER. C'est en particulier grâce à l'étude des résistivités de la retenue alimentant l'usine hydroélectrique de Licq-Athery que M. RAVIER a découvert en 1952 le cours d'eau souterrain qu'il a baptisé « rivière Saint George » et qui apporte dans cette retenue des débits supérieurs à l'ensemble des apports connus. L'existence de tels apports occultes était bien entendu soupçonnée par les ingénieurs exploitant l'usine, mais n'avait pu jusqu'ici être mis en évidence.

## CONCLUSION

Les mesures de conductivité se sont déjà montrées fructueuses en hydrologie. Nous pouvons, en France, exécuter maintenant couramment des jaugeages par ce procédé, pour des débits allant jusqu'à quelques dizaines de m<sup>3</sup>/s, avec une précision au moins égale à celle des autres procédés.

Les variations de conductivité en fonction des débits et de la distance à la source sont, à l'heure actuelle, bien connues dans leur principe, sinon quantitativement, et peuvent permettre dans certains cas particuliers l'estimation directe et précise du débit.

L'examen des anomalies dans les variations de conductivité s'est montré fructueux pour l'investigation d'écoulements occultes et ont permis de découvrir des cours d'eau souterrains énergétiquement exploitables.

Cependant, bien des points restent à étudier de façon plus approfondie. Les variations de conductivité en fonction du débit affectent des allures assez variables suivant les bassins versants, et qu'il conviendrait de rattacher plus étroitement à la géologie et à la pétrographie de la région drainée.

Dans le cas de bassins étendus et par suite, souvent complexes, les calculs exécutés à partir d'hypothèses extrêmement simples deviennent rapidement inextricables et rendent nécessaire d'examiner les variations naturelles de conductivité avec l'oeil du statisticien, ce qui nécessite en particulier l'accumulation d'un grand nombre de mesures précises, que notre appareillage pourra permettre d'obtenir.

## BIBLIOGRAPHIE

- F. KOLRAUSCH & L. HOLBORN : « Das Leitvermögen der Elektrolyte ». — Auflage, Leipzig 1898.
- A. BARLAGELATA : « Il metodo chimico-elettrico per la misura delle portate dei corsi d'acqua ». — L'Elettrotecnica, 15 février 1926.
- V. PISA : « Metodi chimico e chimico-elettrico per la misura delle portate ». — Roma. Magistrato alle acque — Ufficio idrografico, 1935.
- H. DUMAS : « La méthode chimique pour la mesure du débit des cours d'eau ». — *La Houille Blanche*, 1951-1952-1953.
- E. D. F. : « Détermination des concentrations chimiques par voie électrique ». — 1952 (Rapport non édité).
- G. CHARLOT & R. GAUGUIN : « Dosages colorimétriques ». — Paris, Masson 1952.

- M. DODERO : « Sur l'emploi du bichromate de sodium dans la mesure du débit des cours d'eau par colorimétrie ». — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences (France)* 1952.
- F. RAVIER : Méthode d'investigation basée sur la mesure des résistivités des Eaux courantes. — Application diverses Sté Hydrotechnique de France, juin-novembre 1953. *La Houille Blanche* N° Special, mai 1954.
- W. LASZLOFFY, K. SZESZTAY & J. SZILAGYI : « A Felszíni Vízeszletek szambavetele (L'inventaire des ressources hydrauliques superficielles) ». — *Vizügyi Közlemények* 1953-1.
- WALTON H. DURUM : « Relationship of the Mineral constituents in solution to stream flow, Saline river near RUSSEL, KANSAS ». — *Transactions of the American Geophysical Union*, juin 1953.
- J. BONNIN & F. RAVIER : « La conductivité électrique des eaux naturelles. Ses variations et leurs applications ». — *Mémoires & Travaux de la Société Hydrotechnique de France*, novembre 1956.
- M. PLATZL : « Die elektrochemische Abflussmessung ». (*Oesterreichische Wasserwirtschaft*, 1956).



## USE OF CURRENT METERS IN TURBULENT AND DIVERGENT CHANNELS

### APPLICATION DU MOULINET HYDROMÉTRIQUE DANS LES COURANTS TUMULTUEUX ET DIVERGENTS

STEPONAS KOLUPAILA, U. S. A.

#### ABSTRACT

The current meter is still the most reliable instrument for flow investigation and discharge measurements in natural and artificial channels. The greatest obstacle in these operations is the irregular pulsation of turbulent flow and obliquity of stream lines. The usual blades of screw type current meters don't comply with the required cosine law, when the direction of stream is not parallel with their axis of rotation.

A new design of the *component runner*, recently introduced into the modern current meters, offers a valuable improvement: it assures a correct cosine law for angles up to  $45^\circ$ . This important innovation has been investigated in laboratories and checked during tests of power plants. The results are very favorable, the grade of accuracy obtained was more than satisfactory. Merits of component runners are particularly evident in inlets or casings of large turbines where the stream lines are inevitably curved.

This new invention promises the same efficiency in turbulent natural streams; there the *angular* pulsation introduces a distinctive error, because velocities fluctuate in magnitude and direction, and *projections* of these velocities are to be integrated. The component runner is particularly significant in large and shallow rivers with complex cross-section and relatively slow flow, distorted by piers, isles, stones, weeds, ice jams, etc.

#### *Two types of current meters*

Various methods and hydrometric instruments are applied in flow investigations. Among them, the current meter is the best known and the most reliable device for velocity measurements in natural and artificial channels.

Current meter, in use since 1790, has a rotating element, namely screw or wheel. Flowing water rotates it, the speed of rotation is determined, and the velocity of stream is derived. The rating or calibration of a current meter is performed by moving it through still water. It is assumed that the relation established by rating in quiet water remains valid when instrument is kept stationary in flowing water.

Two types of current meters are most known and used. The *screw* type has a runner (incorrectly called propeller) with several blades rotating about the horizontal axis, which is directed toward the stream. Runner acts like any screw and interferes very little with the flow.

The *cup* type has a bucket-wheel, rotating about a vertical axis. Its rotation is produced by the difference in drag action on opposite cups exposed to the stream. Cup type disturbs the flow considerably and leaves behind it a trail of eddies.

#### *Current meter in oblique flow*

All current meters can be equally accurate in parallel filaments of steady flow. Their performance is different when the currents are not perpendicular to the cross section, the water discharge of which is to be determined.

The cup type is not sensitive to the direction of flow: it always reacts to the maximum velocity, independently wherefrom it comes. The oblique velocity must be reduced to its projection perpendicular to the cross section. The use of uncorrected maximum velocity results in exaggeration of the discharge.

The screw type is intended to measure the projection of velocity on its axis,  $v^* = v \cos a$ . This is, however, not completely correct. The ratings of current meters performed at different angles to the normal, show many deviations from this cosine law. Fig. 1 represents the oblique ratings of several most known kinds of current meters. Approximately, the regular helical runners with a pitch of 25 cm follow the law close to  $\cos^2 a$ , while those with a pitch of 50 cm are closer to  $\cos^3 a$ . The deviations are mostly symmetrical to the normal centerline. The non-symmetrical curves detect the influence of the frame which deflects the stream at oblique angles.

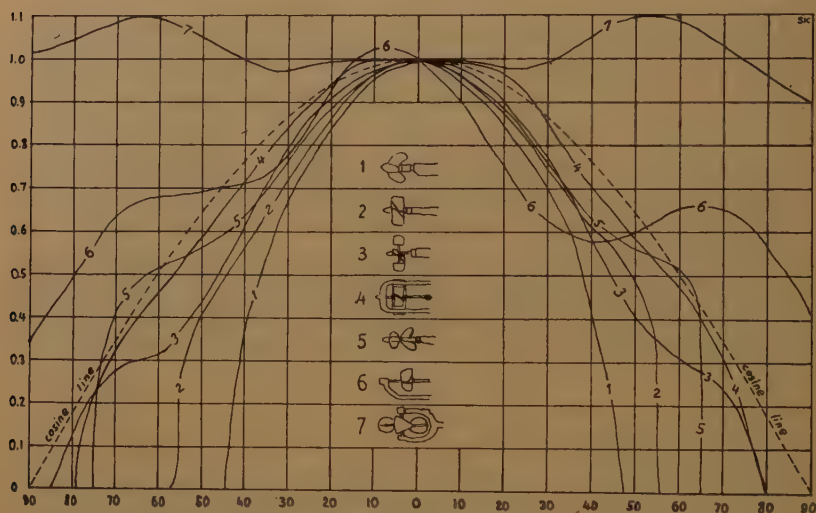


Fig. 1 — Oblique ratings

Usually, the measured projection of oblique velocity is less than the correct projection  $v \cos a$ . This is the reason, why the screw type tends to under-estimate the discharge when stream filaments are not parallel.

E. H. Brown and F. Nagler expressed <sup>(1)</sup> the following opinion more than 40 years ago:

«The ideal meter is one which, when rigidly supported in disturbed water will register only true components of velocity when subject to flow from any direction. This condition at once limits us to the screw type of meter, the design of the head of which shall be such as to give the desired true components.»

Particularly important is the «ideal meter», when the measurements are to be performed in curvilinear filaments of flow, with velocities convergent or divergent at different angles in various points. This happens at inlets of low-head power plants, in scroll-casings of large turbines, on spillways, in bends.

All efforts to design such an ideal meter with component-runner failed for long time. Various remedies or palliatives were tried.

The determination of angles of filaments and measuring of velocity in this

direction was applied for computation of a correct projection in Switzerland, 1934 <sup>(2)</sup>. This method was extremely complicated in use and unreliable in results.

The successive use of two types of meters, one type retarded by the oblique flow and the other accelerated by the oblique flow, was recommended by the ASME Power Test Code. In 1932 C. F. Merriam and J. M. Mousson <sup>(3)</sup> applied at Safe Harbor Plant two types of runners, both of which under-register, but to different extents; the true value was obtained by extrapolation.

The author suggested the use of one runner held twice under certain angles and the derivation of the true direction and component, based on the known oblique rating at this particular angle <sup>(4, 5)</sup>.

#### *The component runner*

Many runners of various sizes, shapes, and arrangements were tried, in order to approach the ideal cosine law at oblique ratings. A partial approximation was obtained by the use of the guard ring around the runner: this ring improves the direction of currents striking the blades <sup>(6)</sup>.

A hint for solution was obtained while investigating the runner, composed of several circular plates attached to the spokes. The plates were subsequently adjusted at different angles to the area of rotation. The tests (Fig. 2) proved that the pitch of a screw is the most significant factor in oblique ratings. Another factor is the area of the projection of blades on a plane, normal to the direction of the flow.

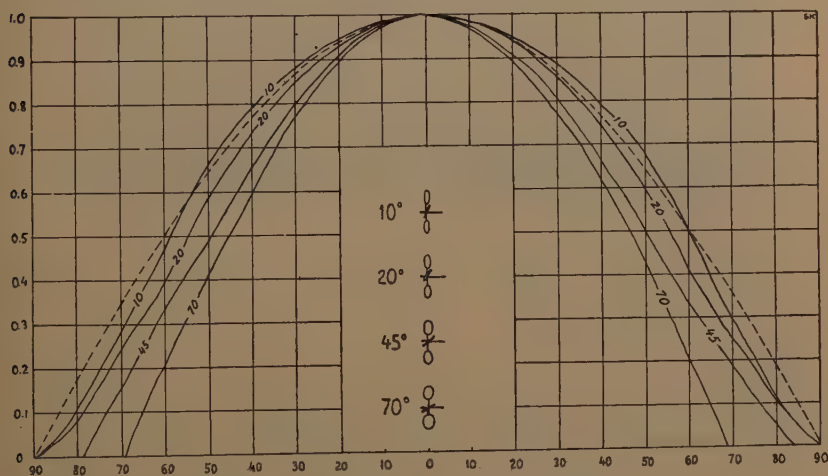


Fig. 2 — Different angles of the blades

Hundreds of models were tested and improved until the discovery of the component runner became a fact. The firm A. Ott in Kempton, Bavaria, has been manufacturing these runners since 1948.

The performance of the component runner was tested in the Hydraulics laboratory in Toeing, Bavaria, in 1948 <sup>(7)</sup>, on a larger scale in the laboratory of J. M. Voith in Heidenheim, Germany, <sup>(8)</sup>, and then was applied in testing of turbines in power plants in Germany <sup>(8, 9)</sup>. The angles between the stream and axis of the meter varied up to 20-45°. The results obtained were rated as very satisfactory. Thus, the new type

of current meter assures a convenient use and a high accuracy in difficult conditions of oblique streams.

Fig. 3 shows a new laboratory meter by A. Ott with a component runner; its diameter is 5 cm and the pitch is also 5 cm. Fig. 4 gives the rating curve for this runner, and Fig. 5 — oblique ratings.



Fig. 3 — Ott current meter with component runner.

#### *Current meter in a pulsating flow*

The actual work of the current meter is more complex, because water flows irregularly: the magnitude and direction of velocities varies in wide limits. Fig. 6 shows flow pulsation in a penstock of a power plant. Each diagram means velocity distribution across the pipe, 4.00 m in diameter, during 10 seconds; 60 diagrams are drawn for the total time of 10 minutes. Extreme surges and humps differ from the average more than 20 per cent in both ways.

It is a question, how well the current meter operates in eddies of a pulsating stream. The current meter is still superior over other devices as it integrates the fluctuations of stream and gives a stable average if observed for an adequately long time.

B. F. Groat in 1913 <sup>(10)</sup> tested the current meters, which were oscillated to simulate pulsation. He found that in perturbed water cup meters always over-register, in average 6%, while screw meters underregister much less, about 1%. He suggested to apply in every point two meters of both types, cup and screw, and to deduce the correct result by averaging readings by certain ratio.

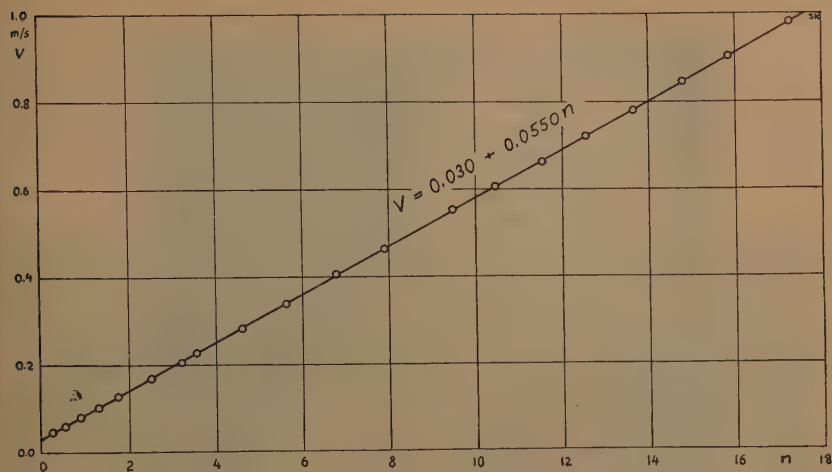


Fig. 4 — Rating curve for the component runner.

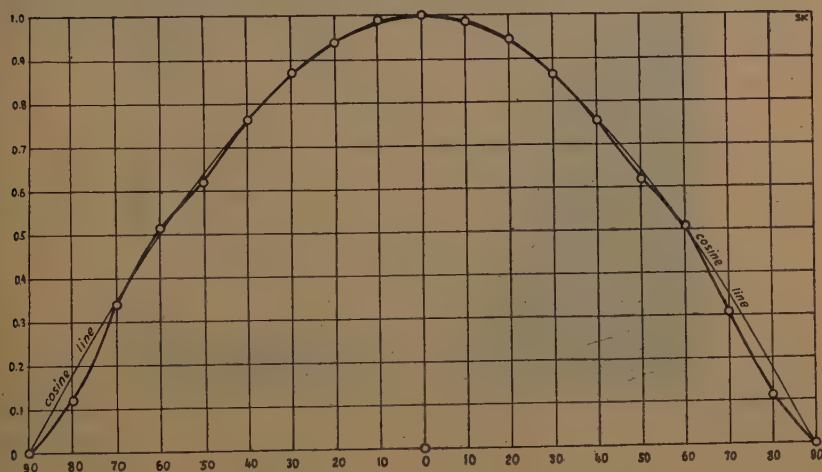


Fig. 5 — Component runner ratings.

Similar conclusions were made by L. F. Moody<sup>(11)</sup>, D. L. Yarnell and F. A. Nagler<sup>(12)</sup>, C. Rohwer<sup>(13)</sup>, S. Logan Kerr<sup>(14)</sup>. Results of their investigations indicate that turbulence may cause the meter to register from 5 to 10 per cent excess discharge.

The pulsating flow effectuates performance of the current meter mostly because the *direction* of the stream varies, while fluctuations in magnitude are considerably damped by inertia and continuity of flow.

The screw and the cup meters do not react similarly to these fluctuations. The cup meter positively integrates all movements and always exaggerates the readings.





Fig. 6 — Pulsating flow in a penstock.

The screw meter is less sensitive for lateral vibration; when moved back and forth it almost reduces from the integration the opposite movement. The ratings of the screw runner in an opposite direction show that about 94% of revolutions are subtracted; the difference of 6% is explained by the interference of the frame and rod. The cup meter, when rated in an opposite direction gives approximately 93% positive readings. Thus, the final effect is 6% against 193% of error.

When the current meter is held suspended on a long cable, it oscillates horizontally and vertically. The cup meter adds all movements to its registration. When the measurements are performed from a ship moving upstream, all shiftings are similarly added to the observed velocities.

This fact can throw light and explain the strange systematic difference in

measurements of Mississippi River at Vicksburg, Miss., where one of the best hydrometric stations in the United States is established. One agency measures river discharges from the bridge of impressive height 50 to 100 ft over the water surface. Another organisation applies a special motorship (Fig. 7) travelling against the current during measurement, without any guy wire or anchor. Both agencies use the same type of cup meter on a cable with 300 lb (136 kg) weight; both are well equipped and have experienced personnel.



Fig. 7 — Discharge measurement at Vicksburg, Miss.

Two measurements were performed parallely at the same time, only 0.4 mile (0.6 km) apart, on Aug. 15, 1951, when the author visited that station. The following results were obtained:

from the bridge	439,000 cfs (12,430 m <sup>3</sup> /sec)
from the ship	403,200 cfs (11,420 m <sup>3</sup> /sec)
difference	35,800 cfs ( 1,010 m <sup>3</sup> /sec) or 8.5%

Very probably, the meter suspended on a long cable oscillates more than the meter lowered from the ship, and not more than to 0.4 depth. Therefore, we can admit, that the discharge measured from the bridge was more exaggerated than the one obtained from the travelling ship. The probable true discharge could be less than 400,000 cfs.

Thirty discharges, measured by both agencies during 1951, differ between 0.53% and 9.45%, in average 5.25%, all in the same way.

The author thinks that these results would be reasonably closer if the screw type of current meter would be used in these important and expensive measurements, and particularly if furnished with a component runner.

The component runner will be useful in rapids with highly pulsating currents, and particularly in large and shallow rivers with a complex cross-section and comparatively slow flow, distorted by piers, isles, stones, weeds in summer, ice jams in winter, etc.

The accuracy of current meters was highly praised by A. Staus <sup>(15)</sup>:

«The current meter applied with proper care, regard and skill assures a surprisingly high grade of accuracy, which cannot be attained or surpassed by any other available method of discharge measurement».

F. A. Nagler evaluated the accuracy of current meters in following conclusion <sup>(16)</sup>:  
 «Under ideal conditions, the best current meter can be used to secure precise measurements of flow, dependable within 2 per cent, and if used intelligently in hands of experts, the deviation from the true value should not exceed 1 per cent. If conditions are not ideal, the degree of precision with current meter may still be better than with any other known method, and the accuracy of the result will depend upon the extent to which the metering conditions depart from the ideal».

## REFERENCES

- (1) E. H. BROWN and F. NAGLER, Preliminary report of current meter investigations. *Proceedings of the Engineers' Society of Western Pennsylvania*, 30 (1914), No. 5, pp. 415-424. Pittsburgh, Pa.
- (2) C. F. STREIFF and H. GERBER, Eine neue Anwendung des Flügelmessverfahrens bei den Abnahmeversuchen im Limmat-Kraftwerk Wettingen. *Schweizerische Bauzeitung*, 103 (1934), No. 3, pp. 36-39. Zürich.
- (3) J. M. MOUSSON, Water gaging for low-head units of high capacity. *Transactions, ASME*, 57 (1935), pp. 303-316. New York.
- (4) S. KOLUPAILA, Eine Methode zur Messung der schrägen Strömungen. Kempten 1945, A. Ott, Dd 404 Wa.
- (5) S. KOLUPAILA, Recent developments in current-meter design. *Transactions, AGU*, 30 (1949), No. 6, pp. 916-918. Washington, D.C.
- (6) F. ANLAUFT, Hydrometrische Flügel bei schräger Anströmung. *Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule München*, (1932), No. 5, pp. 1-19. R. Oldenbourg, München-Berlin.
- (7) S. KOLUPAILA and A. LANDAUER, Modellversuche und Flügelmessungen in schrägen Strömungen. *Die Wasserwirtschaft*, 41 (1950-51), No. 6, pp. 147-151. Stuttgart.
- (8) H. P. MÜLLER, Neues Flügelmessverfahren bei Schrägströmungen in Einläufen von Turbinenanlagen. *Die Wasserwirtschaft*, 42 (1951-52), No. 7, pp. 233-237. Stuttgart.
- (9) H. ESCHLER, Turbinen-Abnahmeversuche am Innkraftwerk Simbach-Braunau. *Schweizerische Bauzeitung*, 73 (1955), No. 31, pp. 471-474. Zürich.
- (10) B. F. GROAT, Characteristics of cup and screw current meters. *Transactions, ASCE*, 76 (1913), pp. 819-840. New York.
- (11) L. F. MOODY, The measurement of the velocity of flowing water. *Proceedings, Engineers' Society of Western Pennsylvania*, 30 (1914), No. 4, pp. 279-323; No. 5, pp. 385-473. Pittsburgh, Pa.
- (12) D. L. YARNELL and F. A. NAGLER, Effect of turbulence on the registration of current meters. *Transactions, ASCE*, 95 (1931), pp. 766-795. New York.
- (13) C. ROHWER, The rating and use of current meters. Colorado Experiment Station, *Technical Bulletin*, (1033), No. 3. Fort Collins, Colo.
- (14) S. LOGAN KERR, Research investigation of current-meter behavior in flowing water. *Transactions, ASME*, 57 (1935), pp. 295-301. New York.
- (15) A. STAUS, Der Genauigkeitsgrad von Flügelmessungen bei Wasserkraftanlagen. Berlin 1926, J. Springer.
- (16) F. A. NAGLER, Use of current meters for precise measurement of flow. *Transactions, ASME*, 57 (1935), pp. 59-67. New York.
- (17) F. L. BRAND, Die Messungen einer räumlichen Strömung nach Grösse und Richtung mit drei Komponentenflügeln. *Die Wasserwirtschaft*, 44 (1953-54), No. 8, pp. 211-212. Stuttgart.

# CONFORMAL TRANSFORMATION APPLIED TO SUPPRESSED WEIRS

C. G. CLINE, C.E.  
*Niagara Falls, Canada.*

## SUMMARY

This paper presents the results of a theoretical study of the flow over sharp-crested, suppressed weirs. The first part deals with the mathematician's «perfect fluid». By a method of trial and error, conformal transformation equations have been found which can be used to compute flow nets and hydrographs for the flow of a perfect fluid over weirs of various heights and to find the numerical values of the corresponding coefficients of discharge. Then a comparison with the published results of experiments with water shows how the theoretical coefficient of discharge for a perfect fluid must be modified to make it applicable to water. This leads to a graphical method of finding the discharge coefficients for the flow of water over weirs of various heights. In addition, the conformal transformation equations can be used to compute profiles for spillways with small velocities of approach, which are based on the shape of the under side of the nappe for a high, sharp-crested weir.

This paper deals with the flow over sharp-crested, suppressed weirs. The first part explains how the method of conformal transformation can be used to study the flow of a perfect fluid over weirs of various heights. Then a comparison with the published results of experiments with water shows how to find discharge coefficients for suppressed weirs; and also how to compute suitable shapes for spillways.

## W-PLANES AND Z-PLANES

Fig. 1 is the W-plane from which all transformations start. The heavy part of the boundary marked ABC transforms into the solid boundaries of the weir and the other parts become the free surfaces. Fig. 2 is the Z-plane for a weir that is infinitely high whereas Fig. 3 is an example of a weir that is of finite height.

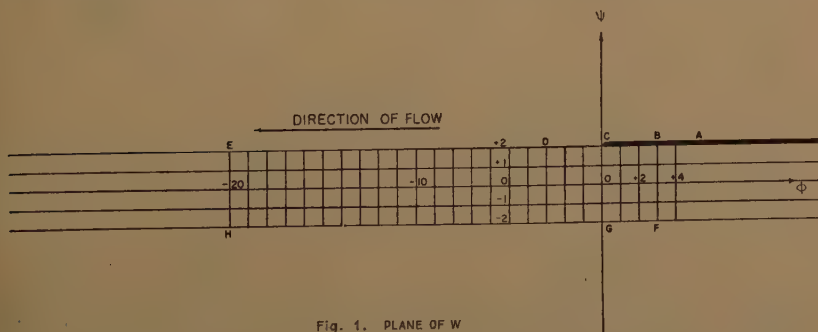


Fig. 1. PLANE OF W

(1) C. G. CLINE, C. E., Niagara Falls, Ontario.

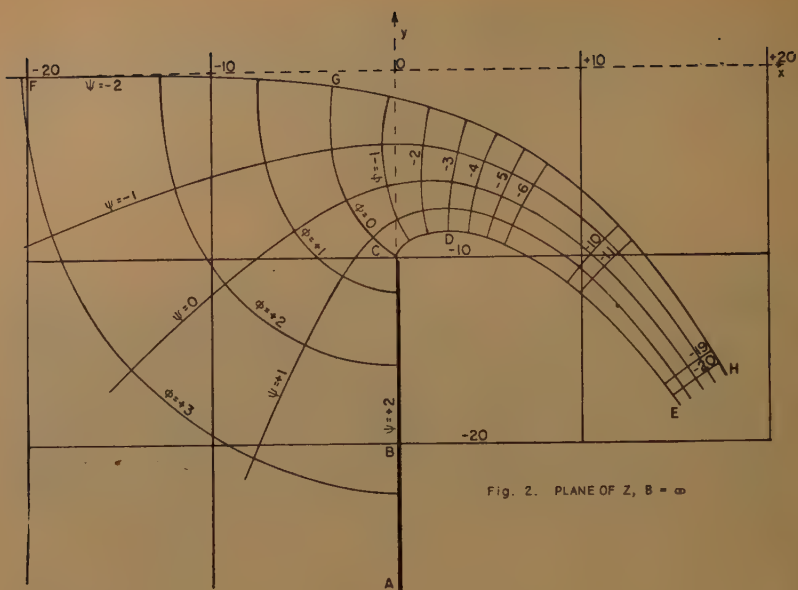


Fig. 2. PLANE OF Z,  $B = \infty$

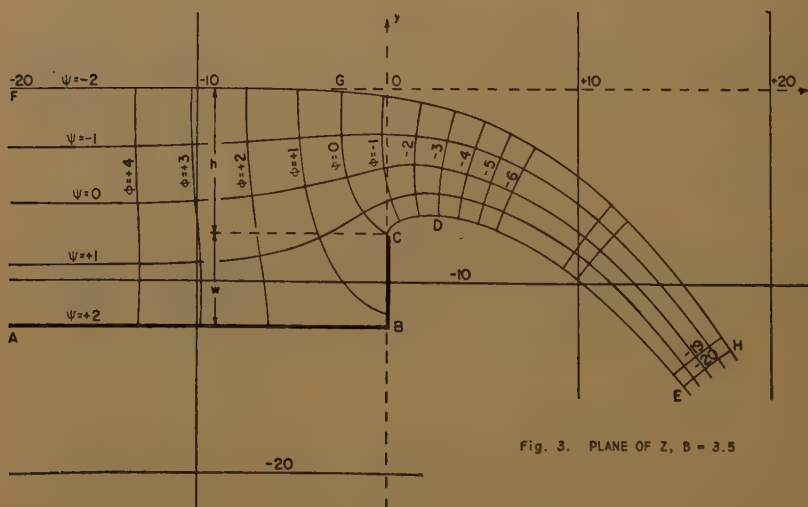


Fig. 3. PLANE OF Z,  $B = 3.5$

## HODOGRAPH PLANES

Fig. 4 is the hodograph plane for Fig. 2. Ordinarily this should mean that the radius vector of each point in Fig. 4 represents, by its length and direction, the magnitude and direction of the velocity vector at the corresponding point in Fig. 2. However, to keep the hodographs general, all velocities in the Z-plane have been divided by the velocity at the crest. Also, it is the reciprocals of these quotients that



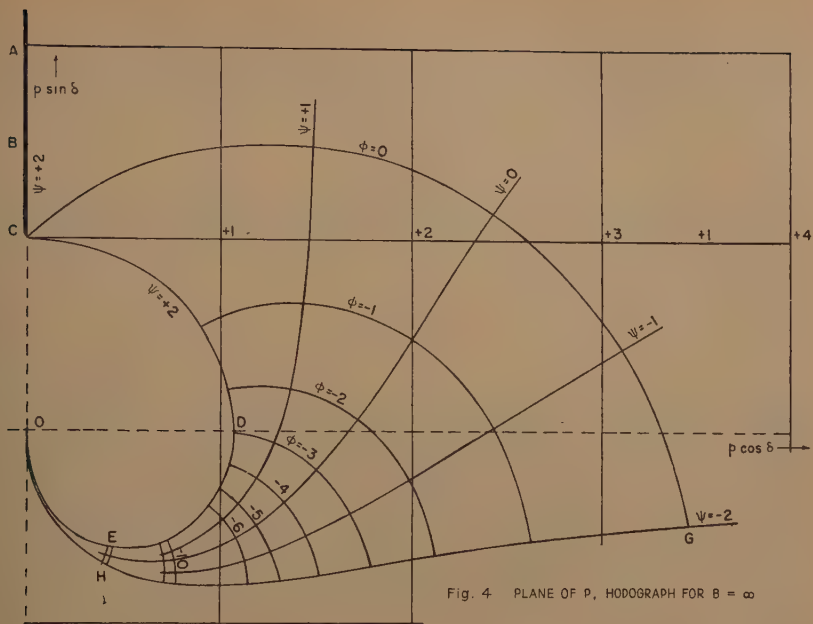


Fig. 4 PLANE OF  $p$ , HODOGRAPH FOR  $B = \infty$

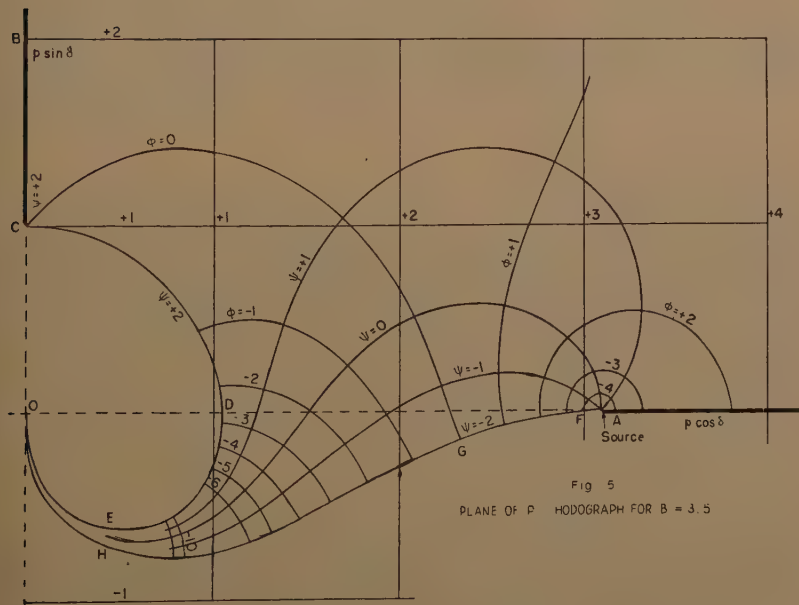


Fig. 5

PLANE OF  $p$  HODOGRAPH FOR  $B = 3.5$

are shown by the lengths of the radius vectors in Fig. 4. On the same basis, Fig. 5. is the hodograph plane of Fig. 3. These hodographs will be called P-planes.

When any complex number  $P$  represents the hodograph plane corresponding to any  $Z$ -plane, then  $P$  bears the following relation to the differentials of  $W$  and  $Z$ :

$$P = -dZ/dW \quad (1)$$

Thus if the  $W$ -plane of Fig. 1 can be transformed to fit the  $P$ -plane of Fig. 4 or Fig. 5, then Eq. 1 can be used to construct the corresponding  $Z$ -plane of Fig. 2 or Fig. 3. This simplifies the problem because the relation between  $W$  and  $P$  is simpler than that between  $W$  and  $Z$ .

#### WEIRS OF INFINITE HEIGHT

By a process of trial and error, three complex equations were found which, when used consecutively, transform Fig. 1 into Fig. 4. From them an equation was derived by means of Eq. 1 to transform Fig. 1 to Fig. 2. The third of these equations contains a set of arbitrary constants and by changing the numerical value assigned to one or more of them, the position of the boundaries in Figs. 4 and 2 can be varied. Of course, no matter what values may be assigned to these constants, the resulting  $P$ -plane will always be an exact hodograph for the corresponding  $Z$ -plane. However, according to the Torricellian formula, the velocity at each point on the surface of the nappe in Fig. 2 is proportional to the square root of the static head at that point, the pressure being atmospheric and there being no velocity of approach. For true  $Z$ -planes, these Torricellian velocities must agree exactly with the velocities indicated by the corresponding points on the hodograph plane. The method of least squares was used to find those values of the constants which would make these two sets of velocities agree most closely and these optimum values have been used in constructing Figs. 2 and 4. The fact that the agreement between these two sets of velocities, though close, is not exact, introduces the only element of inexactness in the results obtained because, as mentioned above, Fig. 4 is an exact hodograph for Fig. 2.

#### WEIRS OF FINITE HEIGHT

By the insertion of an extra term containing an arbitrary constant,  $B$  say, on the second of the three complex equations mentioned above, it is possible to extend the process to cover weirs of finite height, the actual height being fixed by the numerical value assigned to  $B$ . Thus hodographs and  $Z$ -planes similar to Figs. 3 and 5 can be computed for weirs of various heights, each different value of  $B$  requiring a new set of numerical values for the constants in the third equation. In this case of course, the Torricellian velocities must be increased by the velocity of approach.

#### DISCHARGE COEFFICIENT FOR A PERFECT FLUID

For each value of  $B$ , it is possible to compute the head required to pass a constant discharge and thus to find the discharge coefficient,  $C_1$ . The values of  $C_1$  found for several different values of  $B$  are shown in the lower graph of Fig. 6, plotted against the corresponding values of  $h/(h + w)$  where  $h$  is the static head on the crest and  $w$  is the height of the crest above the channel of approach.

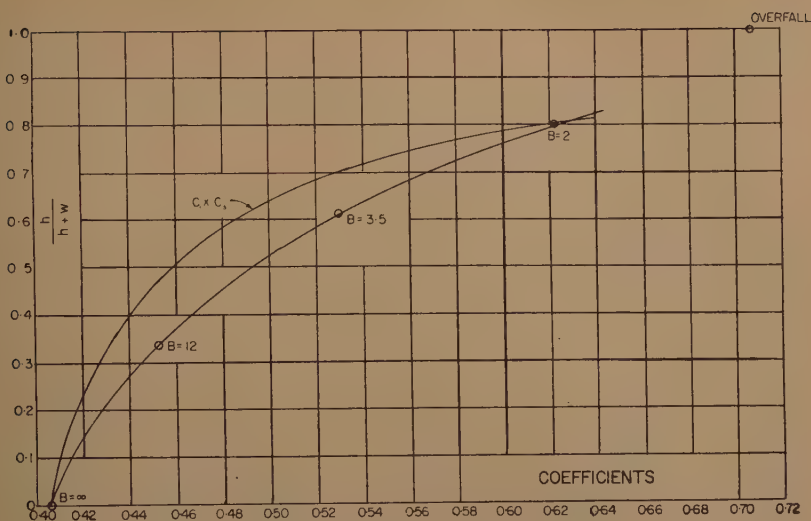


Fig. 6. . DISCHARGE COEFFICIENTS,  $C_1$  and  $C_1 \times C_3$

Values of  $C_1$  scaled from Fig. 6 (lower graph) can be substituted for  $C$  in the following standard discharge formula for suppressed weirs to give the rate of discharge for a perfect fluid over a weir with any given value of  $h/(h + w)$ :

$$Q/L = C (2g)^{1/2} h^{3/2} \quad (2)$$

where  $Q/L$  is the discharge per foot of crest and  $g$  is the acceleration due to gravity. Thus the discharge coefficient for a perfect fluid depends only on the value of the ratio  $h/(h + w)$ .

#### DISCHARGE COEFFICIENTS FOR WATER

To find similar discharge coefficients for water, it is necessary to multiply the values of  $C_1$  scaled from Fig. 6 (lower graph) by values of  $C_2$  and  $C_3$  scaled from Figs. 7 and 8 as shown in the following equation, values of  $C_2$  being plotted against values of  $h$  in Fig. 7 and  $C_3$  against  $h/(h + w)$  in Fig. 8:

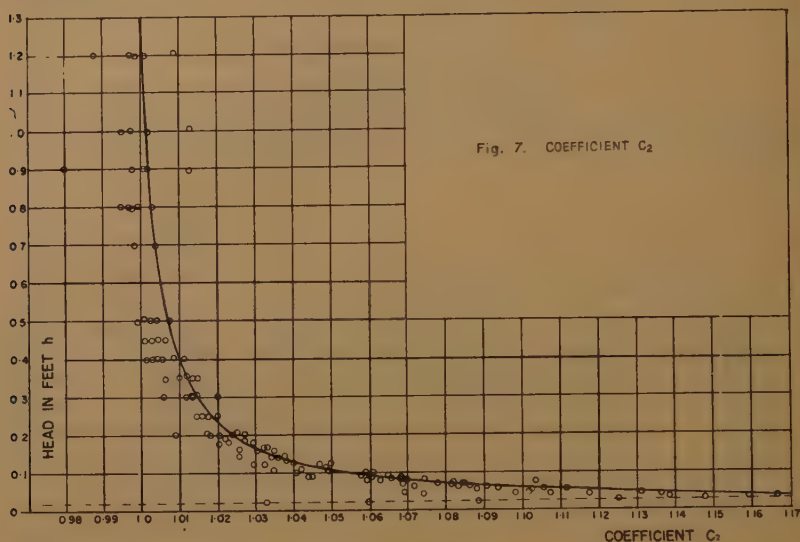
$$C = C_1 \times C_2 \times C_3 \quad (3)$$

These two graphs were found by comparing the values of  $C_1$  from Fig. 6 (lower graph) for a perfect fluid with the values of  $C$  for water as shown by the following Rehbock formula (in feet):

$$C = \frac{2}{3} \left( 0.605 + \frac{l}{320 h - 3} + 0.08 \frac{h}{w} \right) \quad (4)$$

The circles plotted on Figs. 7 and 8 show the results given by a set of experiments by Schoder and Turner. The full amount of any discrepancy between the graphs and the experiments appears in both Figs. 7 and 8. There are few such differences greater

than one per cent for heads greater than 0.04 foot. Below that head, the Schoder and Turner experiments were used to locate the graph in Fig. 7 as shown by the broken line.



The upper graph in Fig. 6 shows the value of the product  $C_1 \times C_3$  and was found by combining Fig. 8 with the lower graph in Fig. 6, both having the same argument  $h/(h + w)$ . Thus the product of  $C_1 \times C_3$  scaled from Fig. 6 (upper graph) and  $C_2$  from Fig. 8 can be substituted for  $C$  in Eq. 2 to give the rate of flow of water at any head over a suppressed weir of any height.

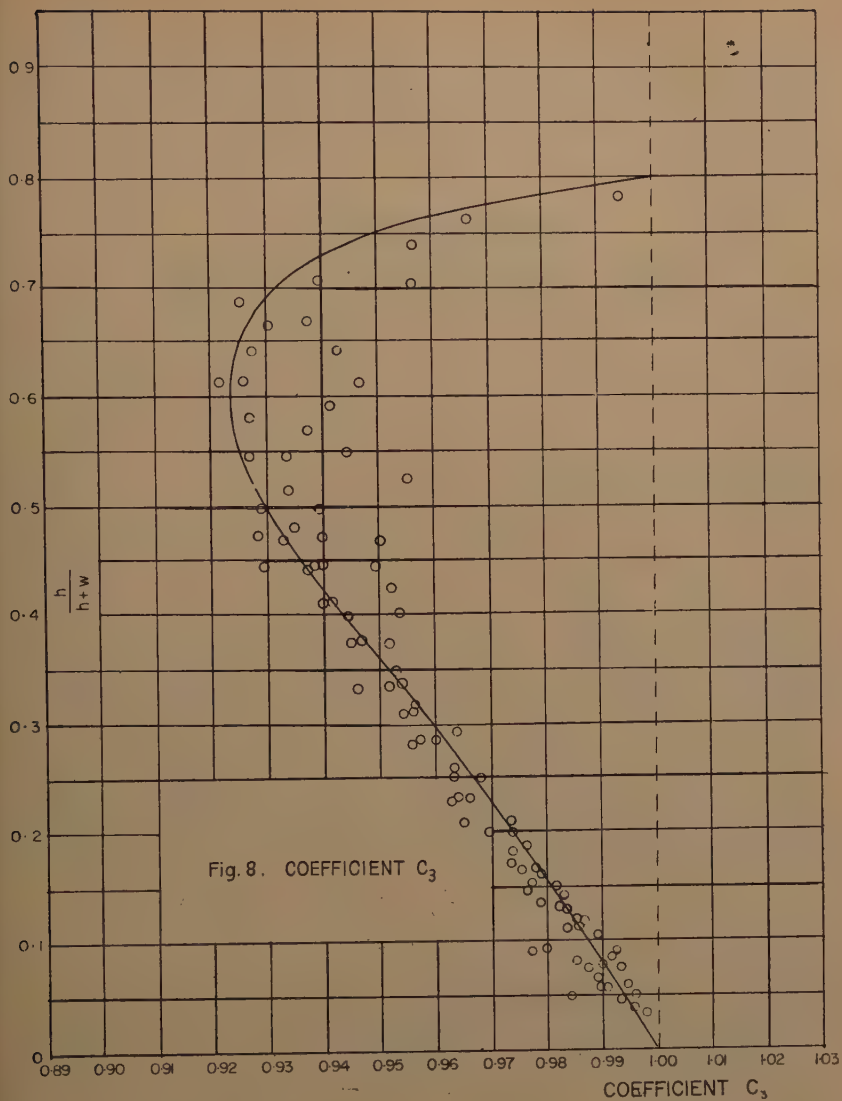
It is possible that the values of  $C_3$  obtained for long weirs would differ from those shown in Fig. 8 which apply to the relatively short weirs used by Rehbock and by Schoder and Turner.

## SPILLWAYS

In designing spillways, it is customary to make the profile conform to the lower surface of the nappe of a sharp-crested weir. Both the coefficient of discharge for a perfect fluid flowing over an infinitely high weir, and also the corresponding shape of the nappe as in Fig. 2, should be applicable to the spillways of high dams, where the velocity of approach is small. When the head on the spillway,  $h_0$ , is to be measured from the top of the spillway crest, the coefficient of discharge,  $C_0$ , becomes 0.4971 instead of the 0.4073 shown in Fig. 6 for a weir. A table has been prepared by dividing by  $h_0$  the coordinates of the lower boundary of the nappe in Fig. 2. To use these figures to find the coordinates for any required spillway, they should be multiplied by the design head.

## SUMMARY

The results obtained to date by using the method of conformal transformation



to study the flow over sharp-crested, suppressed weirs under gravity include the following:

- Flow nets and hodographs for a perfect fluid, which should be useful in studying the motion of actual liquids.
- A graphical method of determining the value of the discharge coefficient for weirs of all heights.
- A method of computing profiles for spillways with small velocities of approach.



# COMITE MIXTE DES PRECIPITATIONS

SEANCE DU 9 SEPTEMBRE 1957.

La séance est ouverte à 9 h. 15 par M. L. SERRA (France), Président du Comité Mixte des Précipitations:

Assistant à la séance :

MM. R.S. ARDEN, Canada; C.N. ALEXANDER, Australie; J.P. BRUCE, Canada; W.M. BERRY, Canada; Donald W. BOYD, Canada; W. FRIEDRICH, Allemagne; F. FOURNIER, France; G. GUILMET, France; L. GHERARDELLI, Italie; W.E. HIATT, U.S.A.; E.L. HAMILTON, U.S.A.; B.E. HARBECK, U.S.A.; M.A. KOHLER, U.S.A.; S. KOLUPAILA, U.S.A.; E.R. KENDALL, Canada; R.W. LONGLEY, Canada; J.K. LATTO, Canada; J. LAMBOR, Pologne; R.K. LINSLEY, U.S.A.; Carroll F. MERRIAN, U.S.A.; G. NYBRANT, Suède; M. PARDE, France; G.W. ROBERTSON, Canada; H.E. SCHWARZ, U.S.A.; L. SERRA, France; D.D. SMITH, U.S.A.; G. TISON, Belgique; J. THIJSSE, Pays-Bas; L.J. TISON, A.I.H.S.; A. VIBERT, France; A. VOLKER, Pays-Bas; P.O. WOLF, U.K.; R.N. WILSON, U.S.A.

## I — EXPOSE GENERAL DE M.L. SERRA, PRÉSIDENT.

Avant la présentation des communications inscrites à l'Ordre du jour, M. SERRA fait l'exposé suivant :

Le programme qui vous a été remis indique que je dois, ce matin, en ouvrant notre séance de travail, vous faire un « exposé général ».

Et sans doute vous vous demandez, puisque vous n'en avez pas eu de résumé, ce que va être cet exposé.

Vous savez que, dans bien des réunions, qu'elles soient scientifiques ou non, lorsque plusieurs communications sont présentées autour d'un même sujet, on nomme un rapporteur général dont la tâche est de passer en revue les divers papiers reçus, les classer sous des rubriques appropriées, essayer s'il le peut, de relier entre elles toutes ces rubriques, en un mot faire une synthèse de l'ensemble des travaux présentés à l'Assemblée.

Comme exemple de Rapport général ainsi compris, je citerai celui qui vous a été remis le jour de votre arrivée et qui est intitulé : « Papers presented on flood prediction ».

C'est un rapport excellent, dont nous reparlerons d'ailleurs au cours de nos séances de travail sur les Eaux de Surface.

Mais aujourd'hui je voudrais aller un peu plus loin. Et ce n'est pas tellement des communications inscrites au programme que je vous parlerai, mais de la situation générale de nos études pluviométriques.

Ce sera ainsi une occasion de « faire le point » — et une fois tous les trois ans, ce n'est vraiment pas trop.

\* \* \*

Donc : Première question : Où en sommes-nous actuellement ?

Je vous rappellerai tout d'abord que le Comité des Précipitations a été constitué après l'Assemblée Générale de Bruxelles.

Il est composé en parties à peu près égales de membres appartenant les uns à l'Association d'Hydrologie Scientifique, les autres à l'Association de Météorologie.

Il y a actuellement dix membres.

Ils avaient été désignés, d'abord en raison de leur compétence en la matière, mais aussi avec l'idée qu'ils auraient été des membres « actifs », c'est-à-dire sinon présentant eux-mêmes aux Assemblées Générales leurs travaux personnels, du moins encourageant et stimulant autour d'eux, et en particulier dans leurs pays respectifs, toutes les études se rattachant aux Précipitations.

En fait, que voyons-nous aujourd'hui ? Les communications qui vous seront présentées émanent de trois pays seulement : la France (5 communications), les Etats-Unis (deux) et l'Allemagne (une).

Or, huit pays sont effectivement représentés dans le Comité des Précipitations.

Faut-il en conclure que nous sommes actuellement parvenus au point où il ne nous reste plus rien à découvrir ou à apprendre, et où les études pluviométriques commencent à perdre de leur intérêt ?

Je ne le pense pas, et je dirai même : « au contraire »

Dans les travaux et les recherches que nous poursuivons tous, les uns et les autres, c'est toujours du cycle de l'eau qu'il est question.

Mais qu'il s'agisse de ruissellement en surface ou d'écoulement de nappes souterraines, ou d'évaporation, c'est tout de même l'eau qui vient du ciel, sous forme de pluie ou de neige, qui est à l'origine du cycle hydrologique.

Et c'est à ce stade — celui de la précipitation — qu'il est essentiel de bien savoir comment elle se comporte.

Mais nous sommes ici entre hydrologues ou hydrométéorologistes, et il est inutile que je m'étende plus longuement sur l'intérêt des études pluviométriques dans leurs applications aux problèmes classiques de l'Hydrologie.

Il est cependant un autre aspect de la question qui depuis quelques années offre un domaine largement ouvert à l'exploration.

Tout le monde ici a entendu parler de la Pluie Artificielle et d'une façon plus générale de la Modification du Temps. Certains d'entre nous y sont même directement intéressés.

Je n'apprendrai rien à personne en disant que c'est là un des problèmes qui sont à l'heure actuelle les plus controversés. Certains croient à la possibilité d'une action humaine sur le déclenchement de la pluie, d'autres nient cette action. Mais si les opinions sont parfois si divergentes, c'est qu'il y a sans aucun doute une large part de sentiment.

Et la raison en est, je crois, bien simple : c'est parce que nos connaissances actuelles sur la Pluie en général ne sont pas encore bien nettes qu'il nous est encore difficile de répondre objectivement à la question que tout le monde se pose : Peut-on réellement faire pleuvoir ?

Je ne veux pas ici entrer dans des détails qui m'entraineraient trop loin, mais tout de même il faut voir la situation telle qu'elle se présente :

A la suite des évaluations les plus sérieuses et le plus objectives des résultats d'opérations de déclenchement artificiel des précipitations, on admet que l'augmentation peut être, sous certaines conditions, de l'ordre de 10 % en moyenne. Sommes-nous capables de garantir à 10 % l'exactitude de nos mesures de la pluie? Je ne parle pas de mesures sur un pluviomètre unique où, moyennant toutes les précautions voulues, on doit pouvoir faire des observations à peu près correctes. Mais lorsqu'il s'agit d'un « ensemble », d'un bassin versant par exemple, sommes-nous toujours certains, à moins de 10 % près, de la quantité d'eau qu'il reçoit réellement?

Nous sommes ici dans un domaine où les erreurs possibles — imprécision des mesures et erreurs d'échantillonnage — sont de l'ordre de grandeur de la quantité à mesurer, c'est-à-dire « l'augmentation ». Nous devons donc nous efforcer de réduire ces erreurs si nous voulons que nos évaluations aient un sens.

Il en est de même lorsque nous comparons la pluie « artificielle » tombée sur une cible avec la pluie « naturelle » recueillie sur une zone de référence non influencée. Il y a là certains problèmes de corrélations spatiales des précipitations et de répartition sur lesquels il faut bien avouer que nous ne sommes pas encore très forts.

Il reste donc dans le domaine de la Pluviométrie encore beaucoup d'études à poursuivre — et je ne les ai pas citées toutes

Mais qui pourra et devra les poursuivre? En fait, ça ne peut être que nous. Nous sommes en effet une Association, je devrais dire une Union, qui jouit d'une autorité scientifique universellement reconnue.

C'est à nous qu'il appartient d'apporter des réponses à ces questions : Qu'est-ce que la pluie? Comment varie-t-elle dans le temps et dans l'espace? Comment convient-il de mesurer correctement ces variations?

Et c'est en définitive notre avis — avis scientifique et avis objectif, car il faudra aussi beaucoup d'objectivité dans une question où tant d'intérêts sont en jeu — qui constituera la base d'une opinion raisonnée sur la valeur des techniques nouvelles de déclenchement des Précipitations.

Qu'il s'agisse ainsi d'applications classiques à l'Hydrologie ou d'applications à un problème nouveau, tout nous amène à intensifier au maximum nos études pluviométriques. Pour ma part je m'y suis attaché, et je ne suis heureusement pas le seul.

\* \* \*

Mais il ne suffit pas d'avoir de bonnes intentions.

Pour être efficace notre travail doit être organisé. Comment y parvenir?

Tout d'abord, il y a « les programmes ».

Il y a trois ans, au cours de l'Assemblée Générale de Rome, le Comité Mixte des Précipitations avait fixé une liste des sujets à mettre à l'étude. Ce programme, qui a été largement diffusé, comporte essentiellement :

- une première partie relative aux mesures,
- une seconde partie se rapportant aux variations de la pluie dans le temps et dans l'espace,
- et enfin une troisième dans laquelle il s'agissait de problèmes spéciaux tels que l'utilisation du radar et la mesure des précipitations en mer.

Pour la séance d'aujourd'hui, quatre communications se rattachent au premier point, quatre au second. Et il n'y a rien pour le troisième. Quand je dis « se rattachent », c'est quelquefois avec beaucoup de bonne volonté.

Ce qui m'amène à dire tout de suite que l'établissement d'un programme ne suffit pas à lui seul à organiser le travail.

Chacun en effet apporte sa petite contribution sur un point qui l'a spécialement intéressé. Quelques-unes d'entre elles ont certainement une valeur indéniable. Mais de même qu'un tas de pierres ne suffit pas à constituer une maison, toutes ces contributions ont besoin d'être assemblées pour constituer un ensemble cohérent et solide.

Alors, comment constituer cet ensemble ?

Il y a naturellement d'abord le « Rapport Général » tel que je l'ai défini au début et qui résume, regroupe et fait la synthèse des travaux présentés, mais à mon avis ce n'est encore pas suffisant.

Ce qu'il faut, c'est une *étude d'ensemble* qui fasse état non seulement des rapports présentés, mais de tout ce qui, au moment de l'Assemblée Générale, a pu être dit ou publié sur la question.

Et c'est là, je crois, une des tâches essentielles des membres de notre Comité des Précipitations.

Mais encore faut-il qu'ils puissent se réunir le plus souvent possible pour décider de la meilleure façon d'orienter leurs travaux, ce qu'il est toujours difficile de faire « par correspondance ».

Je touche là à un point sensible et qui va faire froncer les sourcils à notre Secrétaire Général, car pour organiser une réunion même restreinte il faut un minimum de moyens financiers.

Mais je dois sur ce point rendre hommage à M. TISON. Grâce à son activité inlassable, et aussi avec le concours de quelques bonnes volontés, le Comité des Précipitations a pu se réunir au moins une fois entre les deux Assemblées Générales de Rome et de Toronto. Et je puis dire par expérience que ça n'a pas été une réunion inutile.

Tout d'abord nous avons pu travailler conjointement avec la Commission des Instruments et Méthodes d'Observations de l'Organisation Météorologique Mondiale. Et cela nous a permis d'arriver à un premier résultat important : la connaissance un peu plus précise de la façon dont les précipitations sont mesurées dans les diverses parties du Monde.

Une enquête a en effet été menée auprès de 92 pays. 42 ont répondu aux questionnaires qui leur avaient été adressés, soit une proportion de presque 50 %, ce qui est à peu près raisonnable.

Il est résulté de cette enquête :

1°) Qu'il n'existe aucune homogénéité dans la mesure des précipitations : par exemple, les diamètres des surfaces réceptrices des pluviomètres varient suivant les pays de 100 cm<sup>2</sup> à 1000 cm<sup>2</sup>.

La hauteur au-dessus du sol varie entre 30 cm. et 2 m.50. La densité des réseaux d'observation entre 1 pluviomètre par 50 Km<sup>2</sup> et 1 par 3000 Km<sup>2</sup> ou davantage.

Aucune règle précise semble n'être donnée en général pour le choix de l'emplacement du pluviomètre, pour la distance à respecter entre l'appareil et les obstacles environnants, pour la mesure des précipitations neigeuses, pour la mesure des précipitations en montagne, etc... En définitive, les écarts d'un pays à l'autre doivent osciller entre 5 % et 15 %, sans qu'on puisse d'ailleurs dire actuellement quelle méthode de mesure s'approche le plus de la réalité objective.

2°) Que la plupart des utilisateurs se contentent pour la mesure des précipitations d'une précision très médiocre. Même si les lectures proprement dites sont faites avec un grand soin, au 1/10 de mm. près, les sources d'erreurs dues soit aux instruments eux-mêmes, soit à leurs conditions d'installation, soit au manque de représentativité ramènent cette précision à être de l'ordre d'environ 10 %.

La réunion de Zurich nous a donc fait toucher du doigt, s'il en était encore besoin, tout l'effort qui reste à faire pour arriver à améliorer les mesures et les rendre comparables d'un pays à l'autre.



Notre Comité s'est donc efforcé de déterminer les caractéristiques de ce qu'on pourrait appeler un « pluviomètre de référence », et a laissé le soin à la Commission des Instruments et Mesures d'observations de l'Organisation Météorologique Mondiale de présenter à cet organisme une Recommandation pour que de tels pluviomètres de référence soient placés dans un ou plusieurs observatoires de chaque pays en vue de déterminer un facteur de réduction permettant de ramener les mesures de précipitations nationales à un standard international uniforme.

Cette Recommandation a été effectivement présentée à la session de l'Organisation Météorologique Mondiale qui s'est tenue en juin dernier à Paris.

J'en reviens maintenant à notre réunion de Zurich où un autre résultat important a été obtenu.

Il touche à ces rapports généraux dont je vous parlais tout à l'heure.

Parmi les questions inscrites à notre Ordre du jour figurait celle relative à l'emploi des écrans de protection autour des pluviomètres.

M. KOHLER de notre Comité s'engagea alors à établir ou faire établir par ses collaborateurs un rapport d'ensemble sur la question. C'est le rapport qui vous sera présenté ce matin sous le titre : « Précipitation Gage Shields ».

Les auteurs ont passé en revue tout ce qui a été dit sur la question : historique, caractéristiques des divers types d'écrans utilisés, résultats obtenus, comparaisons et commentaires. A cela s'ajoute une bibliographie très détaillée (plus de 250 références).

C'est le type même du rapport qui « fait le point » sur un problème.

Je ne prétends pas que la question soit ainsi complètement épuisée, et les auteurs indiquent eux-mêmes ce qui reste encore à faire.

Mais leur travail est une base extrêmement précieuse, qui évitera bien des tâtonnements et des recherches inutiles.

Et c'est cela que je voudrais voir généraliser pour toutes les questions qui se rattachent aux Précipitations.

\* \* \*

Après toutes ces considérations sur nos travaux, sur leur état actuel et leurs perspectives, je crois qu'il est temps maintenant de conclure.

Je le ferai sous une forme très schématique résumant d'ailleurs ce que je viens de vous lire :

1.— Nécessité d'intensifier nos études pluviométriques en raison :

— d'une part, de leur intérêt évident pour les problèmes classiques de l'hydrologie,

— d'autre part, du fait que nous sommes la seule organisation scientifique qui soit capable, et qui ait le devoir, d'élucider des questions rendues actuelles par le développement récent de techniques de modification du temps.

2.— Nécessité d'organiser notre travail.

— Avant la fin de cette Assemblée Générale, un programme pour la nouvelle Assemblée sera mis sur pied. Le Comité a déjà quelque chose en vue, mais c'est avec plaisir que je recevrai toutes vos suggestions.

— Ce point étant fixé, c'est aux membres du Comité qu'il appartiendra de donner et de maintenir l'impulsion nécessaire pour arriver à des résultats concrets.

3.— Nécessité enfin de mettre ces résultats sous forme utilisable.

Il ne suffit pas d'apporter quelques pierres à l'édifice. Il faut bâtir. Notre Comité, émanation de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale, est en quelque sorte l'« expert » que l'on vient consulter en matière de pluie. Il doit être en mesure de répondre de façon claire et utilisable aux questions qui lui seront posées.



Il ne pourra évidemment le faire que s'il s'est au préalable donné la peine de faire l'effort de regroupement et de synthèse de toutes les contributions que vous lui aurez apportées.

J'en ai maintenant terminé avec mon Exposé général. Nous allons passer, si vous le voulez bien, à la suite de notre programme.

## II — PRESENTATION DES COMMUNICATIONS

1.— La première communication inscrite à l'ordre du jour est celle de MM. W.T. WILSON et L.L. WEISS : « Precipitation Gage Shields ». Elle est présentée par M. W.E. HIATT.

Cet exposé donne lieu aux commentaires suivants :

C.F. BROOKS.— Experience at Blue Hill Meteorological Observatory since 1935 indicates that neither solid nor flexible shields will permit full catch of snow in strong winds. Cutting 4 or more sections from the accumulation on the ground where depth is average (as determined by 10 or 20 depth measurements) must be resorted to. The wind effect has been greatly reduced by maintaining a surrounding area of deciduous bushes (oak) cut to about the height of the tops of the gages to a distance of about 25-50 meters.

W.E. HIATT répond qu'effectivement le dispositif préconisé par M. BROOKS serait souhaitable mais qu'il est en pratique irréalisable pour les milliers de pluviomètres en service dans le Monde. C'est également l'avis de M. SERRA.

2.— Communication de MM. F. LUGIEZ et A. DUMAINE : « Deux dispositifs améliorant la mesure des précipitations et facilitant la transmission à distance »

Cette communication est présentée par M.G. REMENIERAS.

Elle donne lieu aux commentaires suivants :

J. RODIER. — Je voudrais poser deux questions :

1<sup>o</sup> Quel est le prix du pluviophone (ligne téléphonique non comprise)

2<sup>o</sup> Au cours de la mise au point du pluviophone, a-t-on procédé à des essais de liaison par radio et dans ce cas, quels ont été les résultats.

Nous avons en effet procédé à l'Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer à des essais, à peu près satisfaisants en France. Mais en Afrique Occidentale nous avons dû renoncer aux transmissions des intensités au cours de tornades, les parasites troublant la réception des signaux. De tels essais avaient pour objet la mesure des précipitations en régions désertiques où les liaisons par fil sont impraticables.

C.F. BROOKS.— The gage just described depends on the rate at which the snow falling into it can be melted. On the case of snow of great intensity the melting cannot be fast enough. The only way to get the actual intensities is to weigh the catch continuously. This is effected by a gage designed by John H. CONOVER, of the Blue Hill Meteorological Observatory, Harvard University, as described briefly by J.C. KURTYKA (on p. 131) in a report of the Illinois State Water Survey to the U.S. Signal Corps 4 years ago, the snow falls into a pail which contains a layer of  $\text{CaCl}_2$  and sits on one side of a balance scale, the other side of which is attached to a strain gage. The collar of the gage has a weak electric heater which is turned on during any snowfall that would cling to the orifice. Some heat reaches the pail from a small electric bulb under the scales. The gage is surrounded by a flexible wind shield. The precipitation, as to amount and rate of fall, is recorded indoors, 60 m. away, on a chart that rotates once in 24 hours and has a scale of 4 inches for 1 inch of precipitation.

The gage is equipped with 4 brass rollers each of which has the weight of 1 inch of precipitation. When the precipitation reaches 1 inch, one brass roller is released on to the plate of the balance opposite the pail which thereby balances the pail and

its accumulated catch and starts the record at 0 again. A total of 5 inches can be thus recorded on a scale with a range of 1 inch. This gage has been functioning for several years successfully and has recorded snow-precipitation rates up to 0.3 inches per hour (the maximum experienced). It gave a beautiful record of a heavy snowfall of 13 inches (1/3 m.) in less than 24 hours. Comparisons have shown good correspondence with sections cut from snow on the ground. Vibration by the wind is damped out electrically in the recorder.

E.L. HAMILTON.— Is the recording raingage described by Dr. BROOKS similar to one described or mentioned in the Bulletin of the American Met. Soc. as used at Oak Ridge?

M. BROOKS replied that the gage had been developed at Blue Hill.

H.E. SCHWARZ.— How do updrafts created by the 500 W heater in the raingage affect this gage during dry and still days with light snowfall. It appears that the 500 W heater would create a considerable thermal updraft.

3.— Communication de M. E. PASTEUR: « Pluviomètres aérodynamiques orientables » présentée par M. L. SERRA.

Elle donne lieu aux commentaires suivants :

S. KOLUPAILA.— Raingage, directed against the rainfall, could measure the maximum intensity only; for the propose of measurement of precipitation for a hydrological balance such an observation must be corrected by cos of angle of inclination to the horizontal surface, or, in some cases, to the surface of the ground. In my opinion, such a movable gage is not suitable for the standard observations of precipitation.

L. SERRA fait observer que le fait d'orienter la surface réceptrice face à la pluie revient en somme à augmenter artificiellement cette surface réceptrice. D'où la différence entre les totaux de pluie recueillis par deux pluviomètres, l'un « orientable », l'autre « standard », différence toujours en faveur du premier.

C.F. BROOKS.— I agree with M. SERRA that what is wanted of a gage is not a catch of the greatest amount of rain or snow but a representation of what falls on the surface. For this, only a gage with an orifice parallel to the surface can suffice for all winds, and inclinations of falling precipitation.

A. VIBERT.— Il est probable, si ce n'est certain, que le pluviomètre orientable doit « capter » plus de pluie que le pluviomètre ordinaire, mais permet-il de se rapprocher davantage du but que se propose d'atteindre la pluviométrie qui est, à mon sens, d'estimer aussi exactement que possible la *quantité d'eau réellement tombée* sur les bassins déterminés. La surface de réception du pluviomètre étant de 400 cm<sup>2</sup>, est-il logique de rapporter à cette dernière la quantité d'eau recueillie, alors qu'en fait, quand le pluviomètre est incliné d'un angle  $\alpha$  sur l'horizontale, il recueille, théoriquement du moins, toutes les eaux intéressant une surface horizontale

$$S = \frac{400 \text{ cm}^2}{\cos \alpha}$$

4.— Communication de MM. HERSCHFIELD et W.T. WILSON: « Generalizing of rain-fall intensity data » présentée par M. KOHLER.

Elle donne lieu aux commentaires suivants :

C.N. ALEXANDER.— In the first part of the paper the use of rain days (i.e. above 1 inch) was used as a basis for estimating rainfall intensity from daily rainfall. In the slide, Thunderstorm days were shown, In what did the two different parameters apply?

M.A. KOHLER répond: The first relation discussed by the author provides a mean of estimating 2-yr, 24-hr rainfall from «rain per rain-day». On the other hand,

Fig. 2 yields 2-yr, one-hr rain fall when entered with 2.3-yr, observational-day rainfall and the number of thunderstorm days.

H.E. SCHWARZ. The necessity of dividing series by curves was mentioned, because of the projection of one extreme point on the computed frequency curve so far out is extremely doubtful. While this is admittedly difficult and also quite dependent of the methods of curve-fitting, I believe it is needed to arrive at a useful frequency curve.

Réponse de M. A. KOHLER : The possibility of separating rainfall observations into two or more classes depending upon the cause may possibly provide better results, but this approach is necessarily subjective. The authors were merely attempting to demonstrate that the differences in the types of distribution fitted are small as compared to the possible sampling error, even in a 50-year record.

5.— Communication de C.P. PEGUY et M<sup>lle</sup> C. CHAPIN : « Intensité et covariométrie des précipitations journalières dans l'Ouest de la France » présentée par J. RODIER.

Elle donne lieu aux commentaires suivants :

M. GHERARDELLI.— La divisione  $\leq 5$  mm;  $5 < P \leq 20$ ;  $e > 20$  mm delle piogge giornaliere puo talvolta introdurre un fattore di discordanza fra le misure. che dipende unicamente dalla scelta dei valori limiti. La pioggia di 19 mm e di 21 mm nelle stazioni A et B corrisponderebbe a una discordanza. Sarebbe forse più opportuna una definizione meno rigida, per esempio definire come concordanza quella per cui, essendo P le pioggia mella stazione A, è  $P \pm \Delta P$  quella della stazione B, ove  $\Delta P$  è una certa frazione di P.

L. SERRA.— A la remarque de M. GHERARDELLI relative à la rigidité des limites qui définissent les classes de précipitations étudiées, on peut en rattacher une autre semblable relative à la rigidité dans la fixation des limites de temps. Il s'agit dans la note de M. PEGUY de pluies journalières; or, on peut avoir le cas suivant : au jour J, pluie sur la station A, pas de pluie sur B, donc pas de corrélation. Le lendemain, au jour J + 1 : pas de pluie sur A et pluie sur B; donc encore pas de corrélation. En fait, c'est peut-être la même perturbation qui a traversé successivement A puis B le lendemain. Physiquement la corrélation existe. A l'étude statistique pure devrait donc se substituer une étude statisticométéorologique.

6.— Communication de M. P. CAPPUS : « Répartition des précipitations sur un bassin versant de faible superficie » présentée par M. G. REMENIERAS.

A part quelques demandes de détails, cette intéressante communication ne provoque pas de commentaires spéciaux.

Il reste encore deux communications inscrites à l'ordre du jour. En raison de l'heure très avancée, M. SERRA, Président, propose qu'elles soient reportées à la séance du 12 Septembre à 14 h. (Symposium sur les précipitations occultes).

La séance est levée à 12 h. 40.

## SEANCE DU 12 SEPTEMBRE 1957, APRÈS-MIDI.

7.— Communication de M. BAUMGARTNER : « Vertical distribution of rain and fog precipitation at the Grosser Falkenstein ».

7 bis — Communication de M. GRUNOW : « Comparable measurements of fog precipitation ».

M. FRIEDRICH présente un résumé de ces deux notes.

Quelques remarques sont faites par divers auditeurs sur les difficultés qu'il y a à séparer avec un même appareil les précipitations liquides proprement dites, des précipitations brouillard.

8.— Communication de M. L. SERRA : « Amélioration de la mesure des précipitations ».

Elle donne lieu aux commentaires suivants :

M. WOLF demande une précision sur les dimensions du tunnel utilisé et la position du pluviomètre dans ce tunnel.

M. SERRA répond qu'il s'agissait d'un tunnel à veine carrée de dimensions  $1,50 \times 1,50$  m., le pluviomètre étant placé légèrement en dessous du centre de la veine.

M. WOLF demande d'autre part si, au cours des essais en soufflerie, on a examiné le dispositif utilisé en Grande Bretagne (turfwall level with the rim of the gauge) et d'autres écrans standard.

Même question de la part de L.L. HARROLD: The Alter shield is used in U.S.A. to overcome wind effects. How does this shield compare with that of the author?

Réponse : L'étude en soufflerie s'est limitée au cas exposé dans la communication, c'est-à-dire à l'influence des écrans en grillage. Il n'a pas été fait d'examen ou de comparaison d'autres écrans spéciaux.

M. LAMBOR.— N'êtes-vous pas convaincu, M. SERRA, que le placement des pluviomètres 1 mètre au-dessus du sol est trop haut? et qu'il serait plus juste de les placer par exemple à une hauteur de 30 cm., si le placement au niveau du sol est impossible?

Réponse : Non, car il faut tenir compte des précipitations solides d'hiver et en de nombreuses régions la hauteur de la couche de neige dépasse 30 cm.

M. PARDÉ.— M. PARDÉ exprime l'intérêt que lui inspirent les expériences de M. SERRA et de ses collaborateurs sur l'erreur qui affecte les observations dans les pluviomètres par le fait du vent. Il estime que les expériences susdites représentent une contribution très importante à un problème d'inexactitude depuis longtemps agité. D'après M. SERRA, cette inexactitude est certaine, par défaut, mais on peut la considérer comme très modérée, avec un pourcentage qui ne dépasserait point quelques centièmes. Certains auteurs avaient craint naguère des erreurs moins modiques. M. PARDÉ indique qu'il admet des inexactitudes bien plus grandes en pourcentage par le fait du vent pour les précipitations neigeuses, et donc pour les précipitations totales qui comportent une forte proportion de neige. M. SERRA partage cette opinion, mais ne peut faute de bases sûres quelconques, avancer des ordres de grandeurs pour les pourcentages d'inexactitude.

\* \* \*

#### PROGRAMME D'ÉTUDES POUR LA PROCHAINE ASSEMBLÉE GÉNÉRALE (1960)

A la suite de divers entretiens et mises au point, le Comité Mixte des Précipitations (A.I.H.S.-A.I.M.) propose pour la période 1957-60, le programme d'études suivant :

##### I — *Observations et Mesures.*

###### 1.— Influences aérodynamiques de l'environnement.

Choix de l'emplacement optimum d'un pluviomètre.



- 2.— Mesures des précipitations en montagne et spécialement sur les pentes  
Mesure des précipitations neigeuses.

## II — *Variabilité des précipitations.*

- 1.— Répartition spatiale des précipitations. — Corrélations. — Analyse de cas particuliers et aspects statistiques à des échelles différentes (10 m. — 1 Km. — plusieurs dizaines de Km.)  
— Représentativité des réseaux d'observations pluviométriques.
- 2.— Variabilité temporelle des précipitations (forme des hyetogrammes en liaison avec les conditions météorologiques).

## III — *Méthodes de mesures par radar.*

Comparaison avec les méthodes classiques.



# PRECIPITATION GAGE SHIELDS

L. L. WEISS AND W. T. WILSON

## ABSTRACT

A comprehensive survey of the literature has been made, and is summarized to give the development and present status of wind shields for precipitation gages. In addition to describing various kinds of shields and discussing their performance, consideration is given to criteria for their use. An attempt is made to define the area of agreement on desirable properties for shields, and suggestions are offered for future work to broaden this area.

## INTRODUCTION

As is well known, the reason for setting up a rain gage is to determine how much precipitation per unit area and time falls to the ground at that spot. With a number of such measurements at scattered points over an area, together with the assumption that the areal distribution of the precipitation is not associated with radical discontinuities, it is possible to arrive at a useful estimate of the total amount of water which has been deposited on the ground. This quantity is a primary element in hydrology, climatology and meteorology. It is apparent that the accuracy of the estimate depends on two things: the first item is the closeness with which the gage measures the amount of precipitation which would have fallen per unit area (horizontal projection) of the ground at the gage site, if the gage had not been there; and second, how well the catches of a number of gages over the area can represent the total mass of precipitated water. This latter important subject is beyond the scope of this paper.

Investigators have found that, in general, unsheltered gages show deficient measurements of precipitation. A deficiency exists which is mainly related to the speed of the wind and the character of the precipitation. Much work has been done in attempts to design shields for gages which will compensate for the influence of the wind. This paper is devoted to a survey of these attempts and the resulting conclusions. The literature has been diligently searched and hundreds of references have been found. Most of them can be found in the extensive bibliographies of Kurtyka (1953) and SIPRE. Those pertinent to this paper are listed at the end.

## DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF SHIELDING

Heberden (1769) observed that similar gages in close proximity, but at different heights above the ground, gave different catches. The work of Bache (1838), Henry (1855-59), Jevons (1861), Stow (1870-71) and Chrimes (1865-72) had definitely established that the decreased catch with height was due to the increase of wind speed with height. From that time on, a great many investigators have made laboratory and field studies on the influence of wind on the catch of gages. In the course of their efforts, it was found that wind speed was not the only variable related to the catch. By far the most important other variable is the character of the precipitation being caught. Under calm conditions this variable is of little influence, but with appreciable wind speed the deficiency of catch increases greatly from the case of large drops to that of fine, dry snowflakes.

Some of the earlier efforts, directed toward minimizing the influence of wind, were concerned with altering the gage geometry. These failed in their primary purpose, but did demonstrate that the size of the orifice was not important in itself. Catches of ordinary size raindrops were found to be within only a few percent for orifices of a few inches up to 24 inches. Various shapes have been used, but it is generally agreed that the circular orifice is desirable. Other efforts have been directed toward shielding the gage from the direct force of the wind. As the idea of protecting the gage from the wind took form, windshields of various types were tried, mostly on an empirical basis. Some were inserted inside the gage, others were attached on the outside of it, and still others set up at various distances from it. In some cases the shield and the gage were one and the same, as in the case of snow bins. In general, the work has been along the lines of «cut-and-try» at field installations. Exceptions are the work with wind tunnel tests, such as that of Bastamov and Vitkevich (1926), Sanuki, Tsuda and Kimura (1952), Tret'iakov (1952) and especially Warnick (1949-56).

#### GAGE SHIELDS

Perhaps the earliest gage shield was that invented by Stevenson (1842). This was a receptacle with elongated orifice set flush with the ground surface and protected from splash by a brush mat. It had the desirable aerodynamic characteristic that it produced no eddies in the air stream except those resulting from the orifice itself. It was unsatisfactory for measurement of snow because snow would drift into it.

Henry (1853) suggested a flat flange around the standard rain gage and slightly below the orifice. This was shown by wind tunnel tests of Bastamov and Vitkevich (1926) to be satisfactory aerodynamically, but had already been abandoned because of undesirable influence on the catch by splash-in with rain and accumulation and subsequent drift-in with snow.

Pit gages were recommended by Henry and were used by Buchan (1872) and later by many investigators — especially in England. They have been of varied design, often as a wall around the gage with inner wall surface vertical and outer one sloping. These have been called turf-wall gages. They help reduce the wind effect for rain, but are unsatisfactory for snow because of drifting into the receptacle.

Nipher (1878) devised a trumpet-shaped shield with the flared end upward and at the level of the gage orifice. A wire mesh, horizontal and extending from the gage edge to the shield, reduced splash. There have been many variants of the Nipher shield. Billwiller (1910) opened the bottom of the cone to permit snow to drop through and minimize accumulation on the shield and subsequent drift into the gage. Later Bastamov and Vitkevich (1926), on the basis of wind tunnel tests, devised a double cone with horizontal flat ring at the top joining the two cones. Sanuki, Tsuda and Kimura (1952), also on the basis of wind tunnel tests, recommended a wide cone with horizontal flat flange extending outward from the top of the cone.

Wild (1885) set up a wooden fence  $16 \times 16 \times 8$  feet high, with the standard rain gage in the center. He also used a cross partition inserted in the gage. Both devices increased the gage catch of snow, in some cases to an excessive amount.

Bigelow (1910) suggested cubical-shaped boxes five feet on edge and raised above the ground for catching snow. These snow-bins increased the catch but increased the difficulties of making the measurement. Guy (1936) field-tested them and declared them to be unsuitable.

Koschmieder (1930) used a gage similar to that invented by Stevenson. A standard gage was sunk into the ground with orifice flush with the ground surrounded by a brush mat or open metal meshwork.

Alter (1937), on the basis of field tests, devised a shield shaped somewhat like the Nipher, but made of metal strips with spaces between them and loosely hung so that movement in the wind inhibits the accumulation of snow. The positions of the leaves and, hence, the aerodynamic characteristics of the flexible shield, are different for different wind conditions. Variants of this shield have been proposed and used. They consist of altering the shape of the metal strips, the spacing between them, and the method of supporting them. These variations have been made as the result of field experience with the shields, as well as on the basis of wind tunnel tests. Warnick (1949-56) devised the Idaho and Shasta shields. Tret'akov (1952), on the basis of wind tunnel tests, devised a shield somewhat similar to the Alter.

The Nipher shield obtained early and widespread recognition, especially in Europe and Russia. After 1937, in the United States, the Alter shield came into general use, especially in the western mountain regions on storage gages in remote installations where snow is important.

#### THE FIELD OF VALIDITY OF SHIELDS

Except for rare and special conditions, the airflow of the atmosphere is turbulent. When the scale of turbulence is of the order of inches, the eddies near the gage orifice are usually a result of the geometry of the gage itself and vary in size with the mean speed of the wind. These can be called gage eddies. Desirable shield design diverts the gage eddies from the orifice or breaks them up into eddies of a smaller order of magnitude. Even if the flow of air past a gage were not turbulent, the fact that the gage is an obstruction produces a vertical component at the orifice as the air rises to pass over the gage. An effective shield should reduce this tendency.

Eddies of the scale of feet are produced by bushes, trees, small buildings, etc. These can be referred to as site eddies. Their undesirable effects on the gage catch can be minimized by proper location of the gage with respect to the obstructions.

Eddies of the scale of hundreds of feet result from small ridges, large buildings, tree groves, etc. These can be referred to as environment eddies. Their influence on the precipitation catch can be altered by changing the gage site with respect to the obstructions. Their influence may be different with different wind direction, and symmetry is desirable.

Eddies of the scale of miles result from large mountains and their influence on the precipitation catch is a local climatological one. The gage site and catch should be specified with respect to those topographic features.

It is only with respect to eddies of the scale of inches that shields attached to gages have logical validity. Their legitimate purpose is to reduce or eliminate the effects of the eddies set up by the gage itself and to reduce the vertical component of the air passing over the gage. Some workers with gage shields have failed to consider this limitation and, for example, have tried to devise shields to give the same catch on the windward as on the lee side of a ridge!

In evaluating the catching efficiency of a shielded gage, it is necessary to keep in mind that the standard of comparison may itself be subject to uncertainties. In catches of rain, the comparison is usually with a «standard» gage without shield. In catches of snow, the comparison is often with the catch on the ground nearby. In this case either depth and density measurements must be made, or cakes must be cut from the snow in the vicinity of the gage and weighed or melted. These values vary from place to place in what may be called a statistical sense, but ultimately, of course, due to a multiplicity of physical causes. Nevertheless, the variation is real.

Since the eddy size is a function of the wind speed and the geometry of the surface

over which the flow takes place, as well as the temperature and humidity structure of the air, and since each eddy size has a different effect depending on the character and size of the particles involved, it is not likely that a shield can be designed which will be other than a reasonable and acceptable compromise. What constitutes a

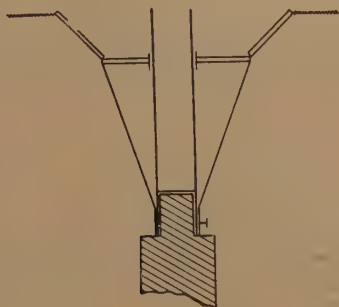


Fig. 1 — Nipher shield. (reproduced from Zeit. f. met. 14:253, Wien 1879)



Fig. 2 — Alter shield. (U. S. Weather Bureau photograph.)



reasonable and acceptable compromise can perhaps be suggested by the following survey and comparison of the results obtained by investigators who have reported on the behavior of shielded gages.

It should be remembered that the quantity desired is the total mass of water deposited over a given area in a particular time. Practical considerations dictate the estimation of this quantity from an areal sampling of the precipitation pattern by a finite number of gages. Even if each gage gave «perfect» catch, differences in method of analysis can result in differences in final estimate. For optimum efficiency, a uniform consistency should be maintained among the steps of the whole estimating process.

#### SURVEY OF SHIELDED-GAGE INVESTIGATIONS

In the tabulations and remarks which follow, the Nipher shield and all its variants will be referred to as «rigid» shields. And the Alter shield and all its variants will be referred to as «flexible» shields. Figures 1 and 2 illustrate these two types of shields.

Comparisons of the catch of a shielded gage with the catch of a standard gage in the immediate vicinity have been made by various investigators. The rigid shield has been in wider use than the others and more comparisons are available for it. The following tabulations give some results for rain only. The figures are the catch of the shielded gage in percent of that of the standard unshielded gage.

##### For gages with rigid shields:

Börnstein (1884) .....	110
Liuboslavskii (1895) .....	109
Abbe (1893) .....	103
Berg (1895) .....	101
Borovkin and Vul'fson (1938) .....	100
Hesselberg and Langlo (1947) .....	97-103
Hayes and Kittredge (1949) .....	98-116
Larkin (1947) .....	107
Hamilton (1954) .....	100
Huddleston (1930) .....	100

##### For gages with flexible shields:

Larkin (1947) .....	104
Alter (1937) .....	105-111

##### For the Koschmieder shield:

Braak (1945) .....	94-191
Koschmieder (1930) .....	100-340
Hoeck and Thams (1951) .....	102-123

##### For the turf-wall shield:

Stewart (1926) .....	108-113
Glasspoole (1930) .....	87-104

These comparisons are without regard to wind. The values are long-term averages rather than individual storm comparisons, usually seasonal or yearly, or several seasons or years. For that reason, they include a wide variety of raindrop sizes and wind speeds. The 191 given by Braak was with wind speed of 13-14 meters



per second, and the 340 by Koschmieder was with wind speed of 16 meters per second. Later, we shall show what relation can be indicated between the wind speed and the percentage catch.

Comparisons of gage catch of snow with water equivalent of snowfall on the ground are given below. The large area of snowflakes relative to their weight makes them especially responsive to wind influences and, in addition to this, their properties of adhesion (which varies with the temperature and humidity conditions of the air and the character of the flakes and the surface of the gage and shield) can cause them to stick around the gage orifice and reduce the opening — even to the point of bridging it entirely. On the other hand, when the flakes are dry, they easily blow out of the gage. Either of these effects reduces the catch from what it otherwise would have been. Excessive catch may result from snow drifting into the gage, or as the result of obstacles to the air flow which propitiously alter the angle of fall of the flakes in the vicinity of the orifice. In the following tabulations the catch for the shielded gage is given in percent of the ground measurements of snow in the vicinity of the gage.

For gages with rigid shields:

Bailey (1947) .....	77
Guy (1936) .....	80
Orlov (1938) .....	42-71
Korovkin (1940) .....	19-57
Magomedov (1953) .....	52-82
Skorobogat'ko 1927) .....	55-58
Popov (1929) .....	33-50
Hesselberg (1945) .....	39-100
Kozlov (1937) .....	14-83
Klingen (1892) .....	down to 18

For gages with flexible shields:

Long (1947) .....	96
Bailey (1947) .....	75
Warnick (1953) .....	80
Kittredge (1953) .....	85
Corps of Engineers (CSSL) (1954) .....	85

For unshielded standard gage:

Long (1947) .....	65-75
Bailey (1947) .....	76
Black (1954) .....	25-50
Guy (1936) .....	30
Horton (1920) .....	86
Cook (1924) .....	53
Melin (1936) .....	65
Kittredge (1953) .....	85-97
Tol'skii (1926) .....	30
Korhonen (1921) .....	86
Kozlov (1937) .....	14-83
Hesselberg (1945) .....	39-100

As in the case for rain, these values are without regard to wind speed. They are presented (as are those for rain) to illustrate what a wide variety of results are obtained when the important variable, wind speed, is not taken into account.

Pit gages and Koschmieder gages have been shown to be unsuitable for measurements of snow and are, therefore, not included in the tabulations above. Cross partitions inserted into the gage are not considered suitable because they increase the likelihood of capping with snow. They do help to suppress eddies within the gage and for very fine, dry snow decrease the outblowing. Some observations relating to them are mentioned later. The Wild fence shield is not included because it is fundamentally not a gage shield but a site shield, and this has been vividly shown in the wind tunnel experiments of Bastamov (1928), where the eddies (made visible by lycopodium powder) are of the order of the width of the fence. At certain widths or wind speeds the air flow «funnels» the particles directly into the gage, producing large overcatch. Of some interest in connection with site shielding are the results of Savinov (1928) in which he showed that a Nipher shielded gage in a forest glade caught 100 percent of the snowfall in its immediate vicinity. Klingen (1892), for similar conditions, reported 98 percent.

The catch of the gage with rigid shield in percent of the catch of the unshielded standard gage for snow only are:

Bailey (1947) .....	106
Shipchinskii (1921) .....	116-354
Larkin (1947) .....	159-181
Billwiller (1910) .....	104-256
Liuboslavskii (1895) .....	110-123
Savinov (1928) .....	167-200
Riesbol (1940) .....	126-133
Borovikov and Vul'fson (1938) .....	257-595
Schmidt (1933) .....	149-164
Hesselberg (1945) .....	127-200
Röstad (1925) .....	144-240
Gautier (1922) .....	141-162
Börnstein (1884) .....	185

The values given by Borovikov and Vul'fson were obtained with wind speeds of over 7 mps.

Similar comparisons for the gage with flexible shield are:

Larkin (1947) .....	171
Warnick (1956) .....	32-165
Long (1947) .....	148
Brooks (1940) .....	118-124
Helmers (1954) .....	140-170

Direct comparisons between the catch of snow of a gage with rigid shield and one with flexible shield give the former in percent of the latter as:

Larkin (1947) .....	106
Bailey (1947) .....	72-114

The wide variety of the results shown above, when the wind speed is not taken into account, allow only imprecise conclusions to be given; namely, that shields on gages increase the catch and that the increase is greater for snow than for rain.

Various investigators have attempted to determine the relation of the catch to the wind speed. The results of their work will be displayed in figures rather than tables. In figure 3 are shown the results given by Warnick for his experiments with sawdust for simulating snow in wind tunnel tests. The curves indicate the percent

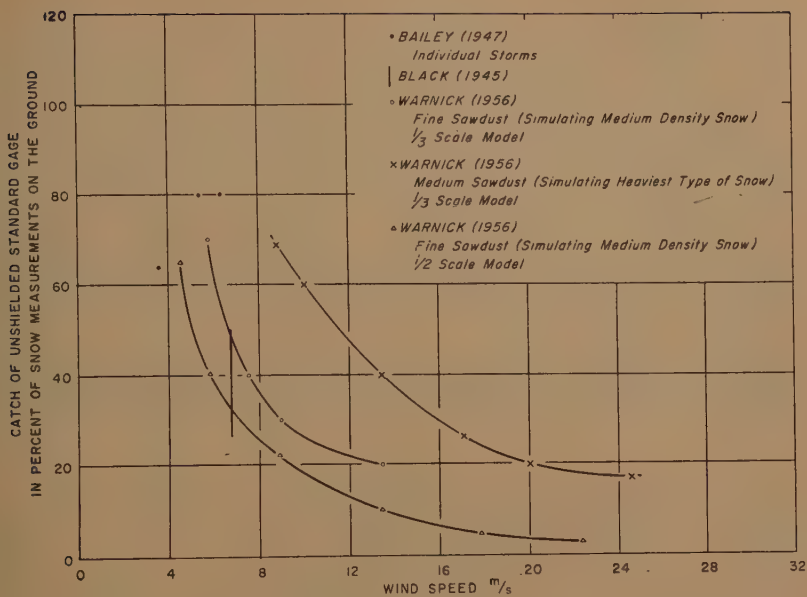


Fig. 3 — Ratio of snow catch of standard unshielded gage to the water equivalent of snow on the ground in the vicinity of the gage at different wind speeds.

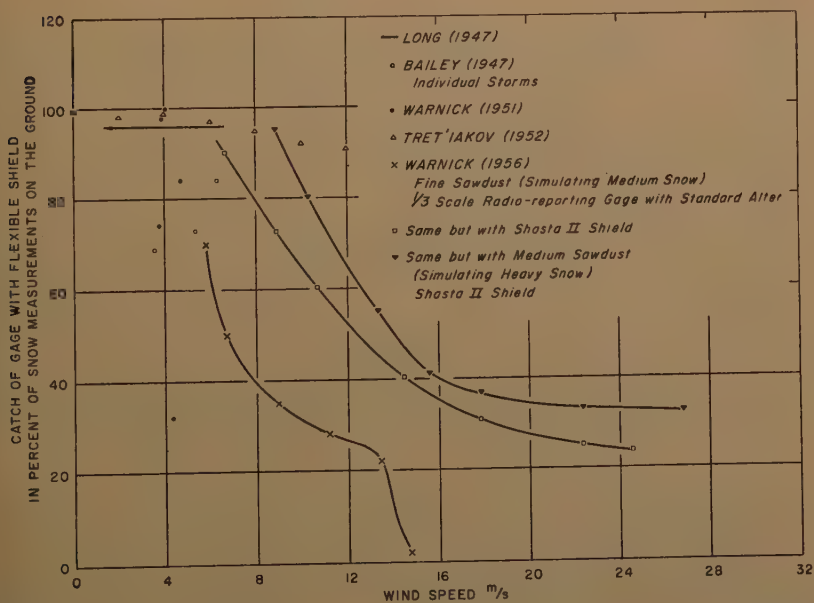


Fig. 4 — Ratio of snow catch of gage with flexible shield to the water equivalent of snow on the ground in the vicinity of the gage at different wind speeds.

of «true» catch for standard unshielded gages. Two scale models were used and the curves are different for the same size sawdust. The curves show that the relation of the wind speed to the catch is greatly influenced by the character (in this case the size) of the particles. On the same graph is shown the results for real snow given by Bailey (1947) using a 4 inch gage, and the values given by Black (1954).

In figure 4 are shown relations of wind speed to catch of snow when the gage has a flexible shield. Warnick's results with sawdust in a wind tunnel are included. The most interesting set of values are those given by Tret'iakov, which are for a shield devised by him but which is similar to the Alter. These results are for six years of data and indicate a very efficient shield — at least to wind speeds of 12 meters per second. The Warnick (1951) results for field installations of the Alter shield at Mullen Pass, Idaho, should not be given much weight because the wind values used were averages taken at the CAA station a quarter mile away and might be different from those at the gage orifice.

In figure 5 similar relations are shown when the gage has a rigid shield. Warnick's wind tunnel results, using fine sawdust, are included. The most impressive results here are those of Tret'iakov for six years of data. It is interesting to note

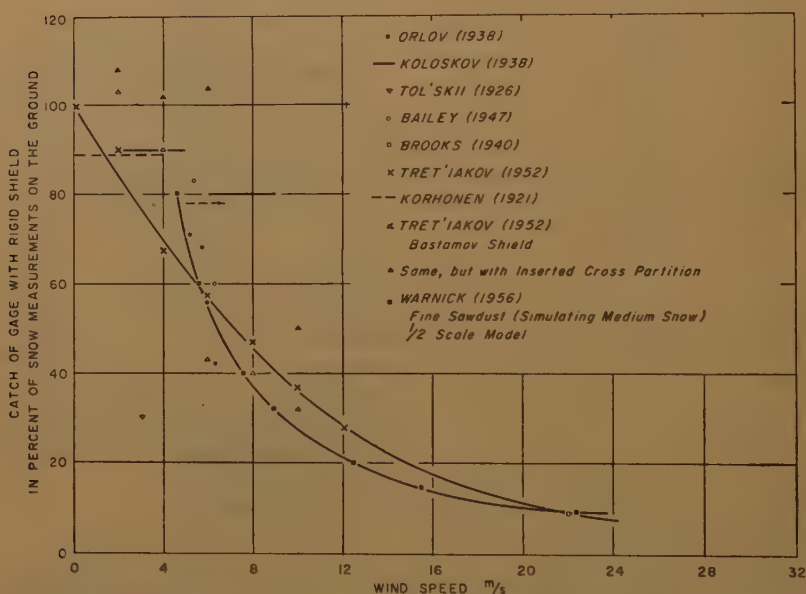


Fig. 5 — Ratio of snow catch of gage with rigid shield to the water equivalent of snow on the ground in the vicinity of the gage at different wind speeds.

that at the highest reported wind speed (about 22 mps), the results of Brooks, Tret'iakov, and Warnick agree. A few points are shown for gages with additional cross partitions inserted.

In figure 6 are shown the relations of the unshielded gage catch to that of a gage with rigid shield for different wind speeds, for snow; in figure 7 the corresponding values are shown when a flexible shield is used. The scatter of Alter's points in figure 7 is regarded as an expression of random error — possibly the effect of wind

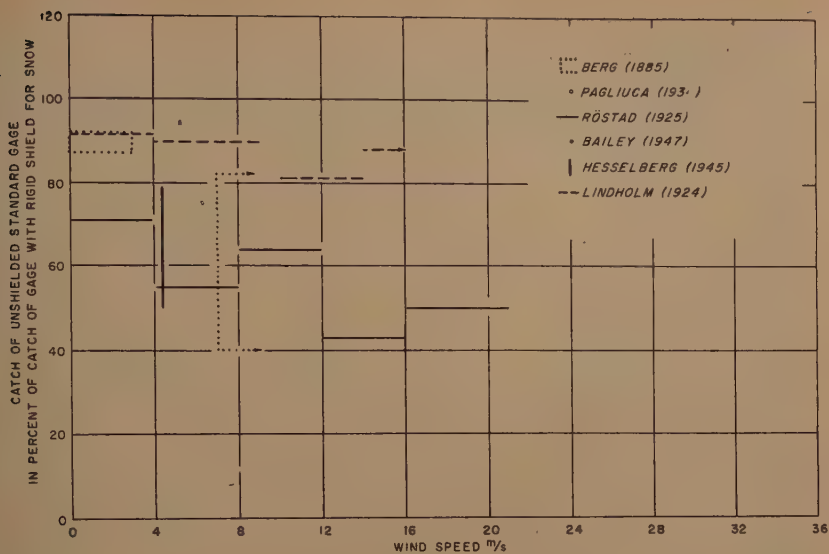


Fig. 6 — Ratio of snow catch of unshielded gage to that of gage with a rigid shield at different wind speeds.

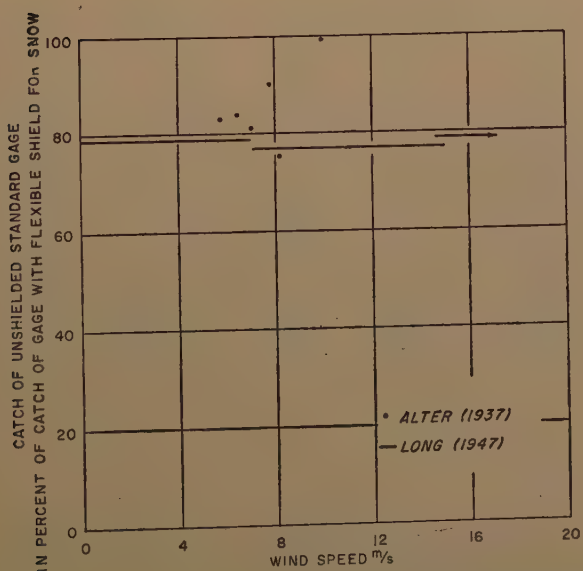


Fig. 7 — Ratio of snow catch of unshielded gage to that of gage with flexible shield at different wind speeds.



direction or stability, or of average particle size — rather than a trend or trends in the relationships between catch and wind speed.

The ratio of the Nipher (rigid) shielded gage catch to that of a Tret'iakov (flexible) shielded one for snow is shown in figure 8. A few comparisons of Nipher to Alter shielded gages given by Bailey (1947) are shown. These are for individual storms.

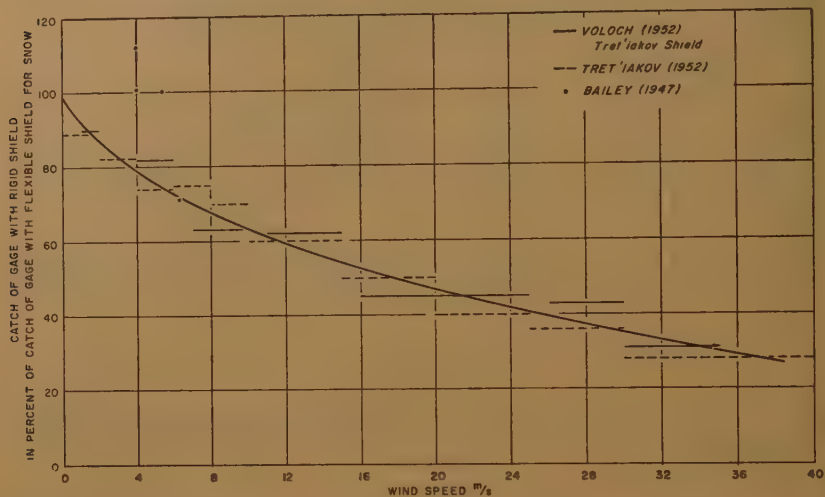


Fig. 8 — Ratio of snow catch of gage with rigid shield to that of gage with flexible shield at different wind speeds.

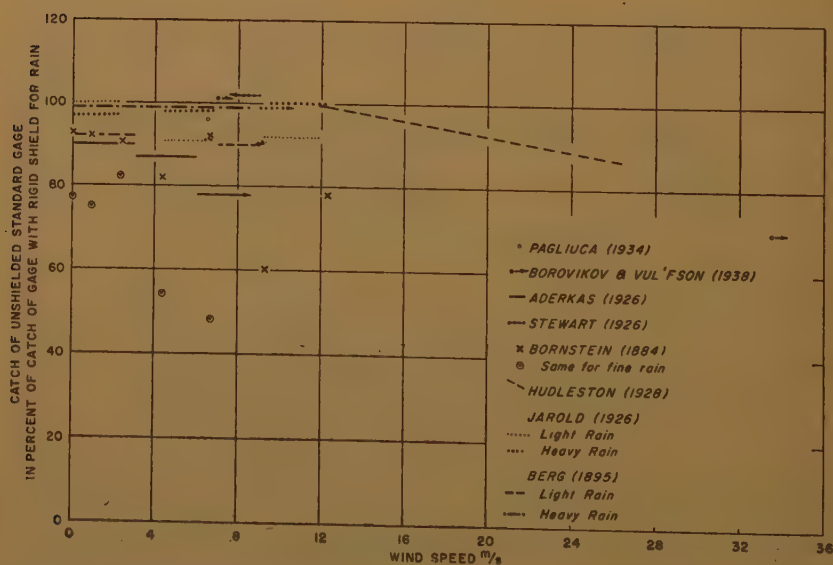


Fig. 9 — Ratio of catch of rain of unshielded gage to that of gage with rigid shield at different wind speeds.

For rain, the catch is generally greater than for snow. In figure 9 are shown the results of unshielded gage catch in percent of the catch of the gage with rigid shield versus the wind speed. Börnstein's results give a good example of the influence of particle size on the relative catch, for unshielded gages.

In figure 10 are shown the results of investigators comparing the catch of unshielded gages (rain only) with the Koschmieder or pit gage versus wind speed. This type of gage perhaps comes closest to giving a useful reference for «true» rain catch, especially when the drop size is large.

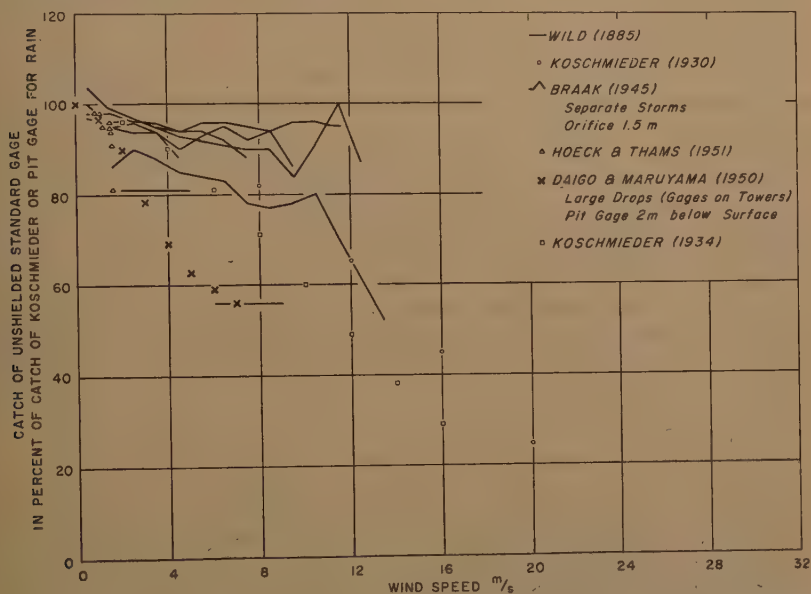


Fig. 10 — Ratio of catch of rain of unshielded gage to that of pit or Koschmieder gage at different wind speeds.

Some comparisons have been made between gages with and without cross partitions inserted into the gage. Borovikov and Vul'fon (1938) found that with the partition and a Bastamov-Vitkevich modified Nipher shield the catch was never less and in some cases was as much as 345 percent of the same gage without the cross. For the Nipher, the values ranged up to 197 percent, and for the unshielded gage, up to 400 percent. Chashchikhin (1926) found for the Nipher shield and the cross partition, values of 129-148 percent, on a monthly basis. Schmidt (1933) gave a value of 103 percent for snow only. Wild (1885) gave 104 percent to 109 percent for winter precipitation, depending on the height of the gage orifice.

#### AREAS OF AGREEMENT

From what has been presented from the investigations of the efficacy of gage shields, it can be said that agreement exists on the desirability of protecting gages from the direct sweep of the wind. It has become increasingly evident that attempts to secure «true» catch by adjoining a windshield to the gage are vain. The importance of adequate site and environment characteristics is now almost universally recognized.

In comparing the catch of one gage with another, the differences are uncertain to an extent, depending on the spatial variation of the precipitation. Examples of this confusion may be cited. Hellman (1892) placed 11 gages in a circle, with the gages one and a quarter meters apart and found that over a ten-month period they differed by as much as 9 percent in winter and 6 percent in summer. Stewart (1923) compared identical gages «close» to each other and found they differed by 2 percent in summer and 5 percent in winter. Reed (1915) had two gages fifteen feet apart and found them to differ by 20 percent for certain storms.

When the catch of a gage is compared with the snow depth on the ground in the vicinity, uncertainties of the snow depth intrude. Klingen (1892) reported snow depth variations in open terrain of 10 to 35 percent. Wilson (1954) reported measurements of the water equivalent of the snowpack on successive days at two points 20 feet apart gave a standard error of estimate of about 1.0 inch. Extreme individual differences were from about 80 to about 200 percent.

The drifting of snow and the site and environmental effects on gage catch are results of the influence of wind. This has been shown by many investigators. Lack of control or measurement of this important variable has led to much confusion and uncertainty.

Apropos of this summary is the warning of Abbe (1893) that any attempt to draw isohyetal lines with greater refinement than the probable error of the measured data is not warranted, nor is the attempt to draw from past records conclusions finer than the data will justify.

## DESIRABLE PROPERTIES OF SHIELDS AND SUGGESTIONS FOR FUTURE STUDY

The most important property of a gage shield is that it reduce or eliminate the wind effect at the gage orifice. This should be accomplished for winds of any speed and direction. The shield should require little or no attendance. It should discourage or minimize bridging with snow. It should be relatively inexpensive to construct and maintain.

The evidence suggests that a flexible type of shield is the best proposed so far. The separated leaves permit much of the snow to fall through, and the movement of the leaves helps to discourage accumulation of snow with subsequent drifting into the gage or capping of the orifice. Warnick (1956) feels that each type of gage may require special shield modification. In field tests of gage shields, all too frequently the results are confused by the insidious effects of site and environment eddies. These do not intrude in wind tunnel tests and we strongly advocate the continuance and extension of such tests, with particular emphasis on studies using fine solid particles and liquid particles. Full-scale models could be used to avoid similitude conversions. Experiments using moving pictures of the gage and shield in action together with no-lag anemometers can be expected to reveal useful information. The pictures could be three-dimensional and with such exposure to a slit light beam as to properly portray the speed and direction of the snowflakes or other particles. When field experiments are conducted, it should be required to make concomitant wind speed measurements at or near the orifice. When the results of such tests are available, a concerted effort should be made to define standard shields and to have them widely accepted.

# BIBLIOGRAPHY

- ABBE, C., «Meteorological apparatus and methods.» *U. S. Signal Service: Annual Report, Appendix 46*, No. 2, p. 13-386, 1887.
- ABBE, C., «Determination of the amount of rainfall.» *American Meteorological Journal*, 6 (6): 241, Oct. 1889.
- ABBE, C., «Determination of the amount of rainfall.» *British Association for the Advancement of Science*, p. 508, 1889.
- ABBE, C., «Determination of the amount of rainfall.» *Meteorological Magazine*, 24: 130, 1889.
- ABBE, C., «Determination of the true amount of precipitation and its bearing on theories of forest influences.» *U. S. Forest Service Bulletin*, No. 7, p. 175-186, 1893.
- ABBE, C., «Reliability of the rain gage.» *Monthly Weather Review*, 22 (1): 25-26, Jan. 1894.
- ABBE, C., «Effect of wind on catch of rainfall.» *Monthly Weather Review*, 27: 308-310, July, 1899.
- ABBE, C., «Rain and snow gage — meteorology.» *Encyclopedia Britannica*, 11th Edition, Vol. 18, p. 275-276, 1911.
- ABBE, C., «Obstacles to the progress of meteorology.» *Franklin Institute Journal, Phila.*, p. 55-71, 1912.
- ABELS, G., «Protection for rain gages.» *Meteorologicheskii Vestnik*, p. 113-116, 1925.
- ADERKAS, O., «The exposure of gages and the effect of wind on the catch.» *Meteorologicheskii Vestnik*, p. 191-196, 1926.
- ALFIERI, «Sulla misura delle precipitazioni nell'alta montagna.» (On the measurement of precipitation in high mountains), *Parma, Ministerio del Lavori Pubblici, Ufficio Idrografico del Po*, 1936.
- ALTER, J. C., «Shielded storage precipitation gages.» *Monthly Weather Review* 65: 262-265, July, 1937.
- American Meteorological Journal, «Observations with different rain gages.» *American Meteorological Journal*, 8 (2): 92, June, 1891.
- American Meteorological Journal, «Exposure of rain gages.» *American Meteorological Journal*, 9 (2): 95, June 1892-3.
- ANFOSSI, G., «Esperimenti di confronto fra diversi pluviometri.» (Experiments comparing different rain gages), *Parma, Ministerio del Lavori, Pubblici Ufficio Idrografico del Po*, 1915.
- ANGOT, A., «Sur la mesure de la neige.» (On the measurement of snow), *Annuaire de la Société Météorologique de France*, 56: 157-159, 1908.
- ANISIMOV, M. I., «A correction factor for snow-gage measurements.» (O popravke k pokazaniyam dozhdemera; Text in Russian). *Referativnyi Zhurnal Akademii Nauk SSSR, Geologiya i Geografiya*, 2, No. 8: 152, Aug., 1955. (Abstract of article: *Meteorologiya i Gidrologiya*, No. 5: 44, 1954).
- ARCTOWSKI, H., «Sur le manque de précision des mesures pluviométriques.» (On the lack of precision of rain gage measurement), *Institut de Geophysique et de Meteorologie de l'Université de Lwow: Communications*, 1 (3): 1-7, 1922.
- ARCTOWSKI, H., «On the lack of precision of rain gage measurement.» *Kosmos Bulletin de la Société polonaise des Naturalistes*, Leopold, 1923.
- ARCTOWSKI, H., «Sur le manque de précision des mesures pluviométriques.» (On the lack of precision in rain measurement), *La Météorologie*, 69 (2): 250, 1926.
- AUSTIN, J. M., «Comparison of rain gages at Apia.» *New Zealand Journal of Scientific Technology*, Wellington, 21 (1B): 52B-56B, July 1949.
- AVERKIEV, M. S., «Meteorologia» (Meteorology). *Moscow*, p. 359-365, 1951.
- BACHE, A. D., «Note on the effect of deflected currents of air on the quantity of rain collected by a rain gage.» *Transaction Section. British Association for the Advancement of Science: Report*, p. 25-27, 1838.
- BAILEY, R. A., «Nipher, Alter and other shields on snow gages compared.» *American Meteorological Society, Bulletin*, 28 (4): 198-199, April 1947.
- BARTISHVILI, I. T., «K voprosu o roli «zaschity» vopredelenii osadkov.» (Russian). (On the role of shielding in precipitation gages). *Meteorologiya i Gidrologiya*, 4: 41-43, December, 1950.
- BASTAMOFF, S. L., «Regenmesserschutz durch Zaeune.» ((Rain-measurement shielded by fences (hedges)). *Meteorologische Zeitschrift*, 45: 481-483, December, 1928.
- BASTAMOFF, S. L., «Sur les pluviomètres.» (Concerning rain gages) *La Météorologie, Paris*, 75 (8): 94-98, 1932.
- BASTAMOV, S. L., and V. I. VITKEVICH, «Aerodynamic flow around a gage.» (Aerodynamicheskii spektry dozhdemero; Text in Russian). p. 360-361, *Trudy Pervogo Gidrologicheskogo S'ezda, Leningrad*, 7-14 May 1924.
- BASTAMOFF, S. L., and V. I. VITKEVICH, «Aerodynamische Spektren der Regenmesser.» (Aerodynamic spectra of rain gages), *Bull. of Geophysical Inst. of Moscow, Ausg D. Geophys. U. Aerolog. Observ. Moskau*, Vol. 10, 1926.



- BASTAMOFF, S. L., and V. I. VITKEVICH, «Les spectres aerodynamiques des pluviomètres.» (Aerodynamic spectra of rain gages), *Geophysical Institute, Moscow, Bulletin*, No. 10, 1926.
- BEARD, H. A. «Apparatus for catching falling rain.» *United States Patent Office; Letters Patent* 1, 118, 259, Nov. 24, 1914.
- BERG, E., «Kritische Untersuchung der Angaben freier und geschuetzter Regenmesser.» (Critical examination of the data of shielded and unshielded rain gages), *Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences, de St. Petersburg*, Ser. 5, Vol 3, No. 2, p. 193, 1895.
- BERNARD, M., «The expanded program of the U. S. Weather Bureau in Snow-work.» *American Geophysical Union Transactions*, pp. 678-681, 1938.
- BERNARD, M., «Weather Bureau's mountain snowfall work.» *Civil Engineering*, 9 (3) : 173-175, March, 1939.
- BIGELOW, F. H., «The catchment of snowfall by means of large snow bins and towers.» *Monthly Weather Review*, 38 : 968-973, June, 1910.
- BILLWILLER, R., «Die Notwendigkeit des Windschutzes von Regenmessern auf Bergstationen.» (The necessity of wind shield for rain gages at mountain stations), *Verhandlungen der schweizerischen Naturforscher Gesellschaft*, 92 : 218-219, 1909.
- BILLWILLER, R., «La nécessité de protéger les pluviomètres des stations de montagne contre vent. Modèle d'un pluviomètre à protection (Modification de l'entonnoir de Nipher).» (The need for protecting the rain gages of mountain stations against wind. Model of a protected rain gage (modification of the Nipher shield)), *Archives des Sciences Physiques et Naturelles (Geneva)*, 28 : 366-368, 1909.
- BILLWILLER, R., «Ein neues Modell eines geschuetzten Regenmessers (abgeänderter Nipherscher Trichter).» (A new model of a shielded rain gage, a variation of the Nipher funnel), *Meteorologische Zeitschrift*, 27 (5) : 193-198, May 1910.
- BLACK, R. F., «Precipitation at Barrow, Alaska greater than recorded.» *American Geophysical Union Transactions*. V. 35, No. 2, pp. 203-206, April 1954.
- BONACINA, L. C. W., «The effects of exposure to wind upon the amount of rain caught by rain gages and the methods of protecting rain gages from them.» *British Rainfall, London*, 46 : 27-45, 1906.
- BONACINA, L. C. W., «Rain gage exposure and protection.» *Nature (London)*, 76 : 672-673, 1907.
- BÖRNSTEIN R., «Ueber den von Nipher vorgeschlagenen Schutztrichter fuer Regenmesser.» (Concerning the protecting funnel suggested by Nipher for rain gages), *Meteorologische Zeitschrift*, Band I, Berlin, 1 : 381-392, October, 1884.
- BÖRNSTEIN, R., «Ueber die Bestimmung der wahren Regenmenge mittels hoch aufgestellter Regenmesser.» (Concerning the determination of the real amount of rain by means of highly placed rain gages), *Meteorologische Zeitschrift*, 1 : 381-387, 1884.
- BOROVNIKOV, A. M. and N. I. VUL'FSON, «About horizontal protection of rain gages comparison of their operation with other systems of protection.» *Meteorologiya i Gidrologiya*, No. 7 : 143-149, 1938.
- BOUTARIC, A., «Les récents progrès des méthodes pluviométriques.» (Recent improvements in the methods of measuring precipitation), *La Nature (Paris)*, 2918 : 489-494, December, 1933.
- BOUTARIC, A., «Les récentes progrès des méthodes pluviométriques.» (The recent progress in rainfall measurement) *Génie Civil*, 107 (2779) 467-469, November, 1935.
- BOUTARIC, A., «Récent progrès des méthodes pluviométriques, le vectopluviomètre et le stéréopluviomètre.» (Recent progress of rain gage methods, the vecto-rain gage and the stereo-rain gage), *Genetics, Brooklyn* 107 : 467.
- BOYS, H. A., «Demerits of rain gages, 'one foot from the ground'.» *Meteorological Magazine*, 52 (618) : 76-77, July, 1917.
- BRAAK, C., «Einfluss des Windes bei Regenmessungen.» (Influence of the wind in measurement of rain), *Beitraege zur Geophysik*, 50 : 231-35, 1937.
- BRAAK, C., «Invloed van de wind op regenwaarnemingen.» (Influence of the wind on rainfall measurement), s' Gravenhage (*Koninklijk Nederlandsch Met. Inst. No. 102, Mededeelingen en verhandelingen* No. 48) 48 (102) : 7-74, 1945.
- BRASSART, F., «L'udmetro — contatore dei fratelli Brassart.» (Rain gage of the Brassart Brothers), *Ufficio Centrale Meteorologico e Geddinamico Italiana e Meteorologia. Geofisica Roma VII Annali*, 1885.
- BRAZIER, C. E., «Sur la mesure correcte de la pluie.» (Concerning the correct measurement of rain), *La Météorologie, Paris*, 70 (3) : 385-395, 1927.
- BRAZIER, C. E., «Quelques remarques à propos de la note de M. Bastamoff «Sur les pluviomètres.» (Some remarks with regard to M. Bastamoff's note on rain gages), *La Météorologie, Paris* : 75 (8) : 99-101, 1932.
- BREITUNG, W., «Auswertung von Regenbeobachtungen und Bestimmung der



- Regenabflussmengen fuer Staedtische Kanaele.» (The value of rain observations in determining runoff for drainage canals), *Leipzig or Stuttgart*, 1912, 1911.
- British Rainfall Organization, «Exposure of rain gages in windy localities.» *British Rainfall*, 66 : 280-281, 1926.
- British Rainfall Organization, «Note on a comparison between rain gages with different exposures at Salt Island, Holyhead.» *British Rainfall*, London, 66 : 282-284, 1926.
- BROOKS, Charles F., «Need for universal standards for measuring precipitation, snowfall and snow cover.» *International Geodetic and Geophysical Union Bulletin*, Sec. B, No. 23 : 37-52, 1938.
- BROOKS, C. F., «Wind-shields for precipitation ages.» *American Geophysical Union Transactions*, Part 1, p. 539-542, August 1938.
- BROOKS, C. F., «Further experience with shielded precipitation gages on Blue Hill and Mt. Washington.» *American Geophysical Union Transactions*, Part 2, p. 482-485, July 1940.
- BROOKS, C. F., «The measurement of snowfall with shielded gages.» *Central Snow Conference, East Lansing, Michigan, Proceedings*, 1 : 193-195, December, 1941.
- BROOKS, C. F., «Impracticability of precipitation gages that are kept pointed into the wind.» *American Meteorological Society Bulletin*, 26 : 98, March, 1945.
- BUCHAN, A., «On a protecting wire screen for the raingage.» *Scottish Meteorological Society Journal*, 4 (61-62) : 146-149, April, 1874.
- Buenos Aires Servicio Meteorologico Nacional, «Instrucciones hidrologicas.» *Precipitation Publ.*, Buenos Aires, Ser. D. Part 3, 23 p., 1945.
- BUIST, *British Association for the Advancement of Science, Trans. Section*, p. 25, 1852.
- BYERS, Horace R., «General Meteorology.» *Textbook: McGraw Hill Book Co., Inc., New York*, p. 85-90, 1944.
- BYERS, Horace R., «Use of radar in determining the amount of rain falling over a small area.» *American Geophysical Union Transactions*, 29 (2) : 187-196, April, 1948.
- CHASHCHIKHIN, Vas., «Snow loss from rain gages due to wind.» (K voprosu o vyduvanti snega vetrom iz dozhdemernykh veder; Text in Russian). *Meteorologicheskii Vestnik*, 36 : 47-48, 1926.
- CHRIMES, R., «Rotherham rain gage experiments.» *British Rainfall*, p. 31-36, 1872.
- CHURCH, J. E., «Snow-study program at Soda Springs near Donner summit of central Sierra Nevada.» *American Geophysical Union Transactions*, 24 (Part 3) : 77-90 November, 1943.
- CLARK, E. J., «Shortage in shallow-funnel rain gage compared with Snowdon gage.» *Meteorological Magazine*, 57 (681) : 244, October, 1922.
- CODD, A. R., «Shielded storage precipitation gages.» *American Geophysical Union Transactions*, Part 1, p. 77-79, July, 1939.
- CODMAN, J. E., «Rainfall observations at Philadelphia.» *Engineering Record*, 26 : 360-361, November 1892.
- CODMAN, J. E., «Notes on the use of automatic rain gages.» *American Meteorological Journal*, 9 (8) : 341-345, December 1892/3.
- CONOVER, J. H. and T. G. NASTOS, «Tests of Stewart and Victor precipitation gages.» *Blue Hill Report. Contract CWB-8120*. July 1951.
- CONRAD, V., «Die Messung von Regen und festem Niederschlag, Köppen-Geiger.» (Measurement of rain and solid precipitation), *Köppen-Geiger's Handbook for Climatology, Handbuch der Klimatologie, Berlin*, 1 (Part B) : 459-465, 1936.
- COOK, A. W., «Comparison of rain gage can and the Horton snowboard measurements of snowfall at Grand Forks, North Dakota.» *Monthly Weather Review*, 52 : 538-540, November, 1924.
- Corps of Engineers, North Pacific Division, «Precipitation evapotranspiration, runoff, Willamette Basin Snow Laboratory.» *Snow Investigations Res. Note No. 20*. July 30, 1954.
- CURTIS, G. E., «Effect of wind currents on rainfall.» *U. S. Signal Service Notes*, No. 16, 11 p., 1884.
- DAIGO, Y., and E. MARUYAMA, (Japanese), «The remarks on the observation of precipitation for flood forecasting.» *Journal of Meteorological Research, Tokyo*, 2 (7) : 191-196, July 1950.
- DENISON, F. N., «Comparison of rain gages.» *American Meteorological Society, Bulletin*, 22 (2) : 65-67, February, 1941.
- DINES, G., «Difference of rainfall with elevation.» *British Rainfall*, p. 15-25, 1877.
- DINES, G., «Difference of rainfall with elevation.» *British Rainfall*, p. 13-16, 1880.
- DUBOIS, B., «Mesures des précipitations effectuées au Mont-Ventoux de 1934 à 1937;» Text in French. (Precipitation measurements on Mont-Ventoux from 1934-1937) *La Météorologie, Series 3*, 157-161, July-Dec., 1940.

- DYMOND, E. E., «On rain gages.» *British Rainfall*, p. 25-27, 1875.
- EREDIA, F., «Gli strumenti di meteorologia e aerologica, descrizione e impiego.» (The instruments of meteorology and aerology, description and use), *Rome; Liberia Bardi*, p. 1-415, 1936.
- FARROW, R. C., «Report of the Committee on Snow, 1948-1949.» *American Geophysical Union Transactions*, 30: 907-910, December, 1949.
- France, Office National Météorologique, *Lexique Météorologique*, Paris, Nivomètre, 6: 281-287, 1909.
- GAUTIER, R., «Nouvelles mesures des chutes de pluie et neige au Grand Saint-Bernard.» (New measurements of rain and snowfall on the Grand Saint-Bernard), *Archives des Sciences Physiques et Naturelles*, Geneva, 5 (4): 343-353, September-October, 1922.
- GEIGER, R., «Messungen des Expositionsklimas.» (Measuring the climate of exposure), *Forstwissenschaftliches Zentralblatt*, Berlin, 51: 37-51, 1929 (49: 665-675, 853-859, 914-923; 1927. 50: 73-85, 437-448, 633-644; 1928).
- GERDEL, R. W., «Snow studies at Soda Springs, California.» *Annual Report Cooperative Snow Investigation*, U. S. Weather Bureau and University of Nevada, p. 3, 1943-1944.
- GERDEL, R. W. and A. R. CODD, «Snow studies at the cooperative snow research project, Soda Springs, California.» *U. S. Weather Bureau-University of Nevada Snow Research Project*, p. 1-19, 1945.
- GLASSPOOLE, J., «Insplashing into and outsplashing from the funnel of a rain gage.» *Meteorological Magazine*, 64,(761): 118-119, June, 1929.
- GLASSPOOLE, J., «Experiments on the shielding of rain gages at Lympe Aerodrome, near Hythe, Kent.» *British Rainfall*, 30: 272-279, 1930.
- GLASSPOOLE, J., «Discussions at the Meteorological Office.» *Meteorological Magazine*. 66 (791): 256-258, December, 1931.
- GLASSPOOLE, J., «The measurement of rainfall on windy slopes.» *Water and Water Engineering*, 47: 550, December, 1944.
- GOLD, E., «Exposure of rain gages.» *Meteorological Magazine*, 57 (681): 231-235, October, 1922.
- GOLD, E., «Wind at the level of a rain gage.» *Meteorological Magazine*, 63 (746): 39-40. March, 1928.
- GOLTSMAN, M. I., «The survey of works in meteorological instruments for the last 20 years.» *Meteorologija i Hidrologija*, 5 (4): 122-123, April, 1939.
- GORTON, Richard, «Difference in rain gages.» *Meteorological Magazine*, 17 (200): 123, September, 1882.
- GRIFFITH, C. H., «Rain gage experiments at Strathfield Turgiss, Reading.» *British Rainfall*, p. 12, 1868.
- GUY, L. T., «Snow studies on Bogong High Plains by State Electricity Commission of Victoria, Australia.» *Bull. N. 23*, Sixième Assemblée Générale à Edimbourg du 14 au 26 Septembre, 1936, *Assoc. Int. Hydrol. Scien. Part II, Trans. Int. Comm. Snow & Glaciers*; Riga 1938, p. 213-243, 1936.
- HALL, L. Standish, «Improving the accuracy of instruments.» *Civil Engineering*, 1 (12): 1098-1101, September, 1931.
- HAMILTON, E. L., «Rainfall sampling on rugged terrain.» *U. S. Department of Agriculture Technical Bull.* 1096, December 1954.
- HARTMAN, Wilhelm, «Die Messung der Wirklichen Niederschlagsmengen auf Berggipfeln.» *Wetter*, 37: 77, 1920.
- HARTMAN, Wilhelm, «Ueber die Wirkung des Nipherschen Schutztrichters.» *Meteorologische Zeitschrift*, 42: 446-447, November, 1925.
- HAYES, G. L., «A method of measuring rainfall on windy slopes.» *Monthly Weather Review*, 72 (5): 111-114, May, 1944.
- HAYES, G. L., and J. KITTREDGE, «Comparative rain measurements and rain gage performance on a steep slope adjacent to a pine stand.» *American Geophysical Union Transactions*, 30 (2): 295-301, April 1949.
- HEBERDEN, W., «Of the different quantities of rain, which appear to fall at different heights, over the same spot of ground.» *Philosophical Transactions*, 59: 359-362, December, 1769.
- HELLMAN, G., «Resultate des Regenmess-Versuchsfeldes bei Berlin 1885-1891.» (Results of rain gage field experiments near Berlin 1885-1891) *Meteorologische Zeitschrift*, 27: 173-181, May 1892.
- HELMERS, A. E., «Precipitation measurements on wind-swept slopes.» *American Geophysical Union Transactions*. V 35, pp. 471-474, June, 1954.
- HENRY, J., «Collected Writings.» Vol. 2, p. 262. (circa 1853).
- HESELBERG, T., «Zur Wirkung des Schirmes auf die Niederschlagsmessungen.» (German) (On the effect of shields in precipitation measurement), *Meteorologische Annaler*, 2 (4): 207-222, 1945.

- HESELBERG, T. H., and K. LANGLO, «As a contribution to the question whether the precipitation gages should be shielded or unshielded and to the question of the best exposure for the gages.» *CIR-IMO/T/16*, 15/7/47 *CIMO-DOC.* 11, 1947.
- HOECK, E., and J. THAMS, «Zum problem der Niederschlagsmessung.» (German) (On the problem of precipitation measurement), *Geofisica Pura e Applicata*, 19 (3-4) : 220-226, 1951.
- HORTON, R. E., «The measurement of rainfall and snow.» *Journal of the New England Water Works Association*, 33 (1) : 14-72, March 1919.
- HORTON, R. E., «Measurement of rainfall and snow.» *Monthly Weather Review*, Vol. 47, p. 294-5, May, 1919.
- HORTON, R. E., «Comparisons of snowfall and rain gage can measurements of snowfall.» *Monthly Weather Review*, 48 : 88-89, February, 1920.
- HOWELL, W. E., *Blue Hill Report*, 1946.
- HUDDLESTON, F., «On certain experiments with rain gage shields, made during the winter of 1926-27, at Hutton John, Cumberland.» *British Rainfall*, 66 : 285-293, 1926.
- HUDDLESTON, F., «Report on experiments with shields during the period 1 March 1927 to February 1928, at Hutton John, Penrith.» *British Rainfall*, 67 : 288-290, 1927.
- HUDDLESTON, F., «Report on experiments with raingage shields and rain gages under the lee of a high wood during the period 1 May 1928 to 30 April 1929 at Hutton John, Penrith.» *British Rainfall*, 68 : 258-269, 1928.
- HUDDLESTON, F., «Report on experiments with rain gage shields and rain gages under the lee of a high wood, May 1, 1929 to April 30, 1930.» *British Rainfall*, 69 : 288-298, 1929.
- HUDDLESTON, F., «Report on experiments with shields in exposed positions, May 1 1930 to April 30, 1931 at Hutton John, Penrith.» *British Rainfall*, 70 : 264-271, 1930.
- HUDDLESTON, F., «Report on experiments with shields in exposed positions, May 1 1931 to April 30, 1932, at Hutton John, Penrith.» *British Rainfall*, 71 : 275-285, 1931.
- HUDDLESTON, F., «Report on experiments with shields in exposed positions, May 1 1932 to April 30, 1933 at Hutton John, Penrith.» *British Rainfall*, 72 : 278-288 1932.
- HUDDLESTON, F., «A summary of seven years' experiments with rain gage shields in exposed positions, 1926-1932 at Hutton John, Penrith.» *British Rainfall*, 73 : 274-293, 1933.
- HUFF, F. A., «Comparison between standard and small orifice raingages.» *American Geophysical Union Transactions*. V. 36, No. 4, pp. 689-694, August, 1955.
- Italy, Ufficio Idrografico del Po., «Esperimenti di confronto fra diversi pluviometri in relazione alla quantita di precipitazione.» (Experiments comparing different rain gages with respect to the quantity of precipitation collected), *Parma*, 1915.
- JAKOBI, N. O., «Erforschung der verschiedenen systems von Schutzvorrichtungen am Regenmesser» (Investigation into the various systems of shielding raingages) *Isvestia G.G.O. No. 4, Leningrad*, 1929.
- JARROLD, P. F., «Experiments with a shielded rain gage.» *Meteorological Magazine*, London, 61 : 87-88, May, 1926.
- JEVONS, W. S., «On the deficiency of rain in an elevated rain gage, as caused by wind.» London, Edinburgh and Dublin *Philosophical Magazine*, (Signal Service Notes, No. XVI) Ser. 4, 22 : 421-433, 1861.
- JOHNSTON, J., «On a new rain gage.» *British Association for the Advancement of Science, Transaction Sec.*, p. 211, 1840.
- KADEL, B. C., «Mountain snowfall measurements.» *Monthly Weather Review*, 41 (1) : 159-161, January, 1913.
- KADEL, B. C., «Rainfall catch as affected by different depth of funnels in the rain gage.» *Monthly Weather Review*, 58 : 282-283, July, 1930.
- KEDROLIVANSKII, V. N., «Meteorologicheskie Pribory» (Meteorological Instruments). Moscow (New edition in 1947). p. 180-203, 1937.
- KITTREDGE, J., «Influence of forest on snow in the Ponderosa-sugar pine-fir zone of the Central Sierra, Nevada.» *Hilgardia*, V. 22, pp. 1-96, 1953.
- KLEINSCHMIDT, H., «Regen- und Schneemessung.» (The measurement of rain and snow), In F. Linke's *Meteorologisches Taschenbuch*, Leipzig, p. 202-205, 1931.
- KLEINSCHMIDT, H., «Niederschlagsmessung.» (Measurement of precipitation), *Handbuch der meteorologischen Instrumente*. Berlin, p. 275-288, 1935.
- KLINGEN, I. N., «Snow cover.» (Snieznyi pokrov; Text in Russian). *Meteorologicheskii Vestnik*, Vol. 2, No. 6, 1892.
- KNOCH, K., «Die Entwicklung unserer Kenntniss des Windschutzes bei der Aufstellung der Regenmesser.» (The development of our knowledge of wind shields in the erection of rain gages), *Wetter (Berlin)*, 25 : 97-102; 129-131; 151-158, 1908.



- KOFLER, «Windeinfluss auf Niederschlagsmesser.» (The influence of wind on rain gages), *Meteorologische Zeitschrift*, 44: 71, February, 1927.
- KOGAN-BELETSK II, G. I., «About methods of measuring rain.» *Meteorologiya i Gidrologiya*, 5 (9): 109-111, September, 1939.
- KOLOSKOV, P. I., «Enregistrement et cartographie des précipitations atmosphériques, servant à l'établissement d'un bilan hydraulique ainsi que dans d'autres buts pratiques.» (Registering and charting atmospheric precipitations for the establishment of a hydraulic balance as well as for other practical purposes), *U.S.S.R. Acad. Sci.: Problem i Fizicheskoi Geografii* (French resume), Vo. 7, Russian article, p. 85-86; 55-84, 1939.
- KOLOSKOV, P. I., «(Russian).» (It is time to revise and improve the methods of calculation and cartography of atmospheric precipitation). *Meteorologiya i Gidrologiya*, 4 (1): 114-116, January, 1938.
- KORHONEN, W. W., «Untersuchungen ueber die Niederschlagshoehe in Finland.» (Research on rainfall in Finland. Studies about the precipitation), *Mitteilungen Meteorologische Zentralanstalt des Finnischen Staates, Helsinki*, 9: 1-98, 1921.
- KORHONEN, W. W., «Ein Beitrag zur Kritik der Niederschlagsmessungen ueber die Dichte des Neuschnees.» (A contribution to the criticism of precipitation measurement of the density of newly fallen snow), *Mitteilungen der Meteorologischen Zentralanstalt des Finnischen Staates, (Helsinki)*, Vol. 18, p. 3-19, 1926.
- KORHONEN, W. W., «Zur Kritik der Niederschlagsmessung.» (A critique of precipitation measurement), *Meteorologische Zeitschrift*, 49: 154-155, April, 1932.
- KOROVKIN, I. P., «River run-off in the Far North.» (K voprosu ob opredelenii normy rechnogo stoka na Krainem Severe; Text in Russian). *Problemy Arktiki*, No. 9: 35-40, 1940.
- KOSCHMIEDER, H., «Methoden und Ergebnisse definierter Regenmessungen.» (Methods and results of definite rain measurements), *Meteorologische Zeitschrift*, 48: 85, 271, 1931.
- KOSCHMIEDER, H., «Methoden und Ergebnisse definierter Regenmessungen.» (Methods and results of definite rain measurements), *III. Hydrologische Konferenz Baltischer Staaten, Warschau*, p. 7, May, 1930.
- KOSCHMIEDER, H., «Methods and results of definite rain measurements. III Danzig Report.» *Monthly Weather Review*, U. S. Weather Bureau, 62: 5-7, January, 1934.
- KOZLOV, M. P., «The measurement of winter precipitation of Polar stations.» (In Russian) *Problemy Arktiki* No. 2, p. 53-59, 1937.
- KRAEBEL, C. J. and J. D. SINCLAIR, «The San Dimas experimental forest.» *American Geophysical Union, Transactions*, No. 1: 84-92, July, 1940.
- KREIN, T., «Model testing of precipitation gages.» *The Idaho Engineer*, 29 (3): 10, 11, 30 March, 1952.
- KURMANGALIN, N., «Zur Frage der Messung von Niederschlaegen.» (On the question of measuring precipitation), *Meteorologische Zeitschrift*, 48: 222-227, June 1931.
- KURTYKA, J. C., Precipitation measurements bibliography, p. 63-177. Precipitation Measurements Study, by John C. Kurtyka, *Rept. of Investigation No. 20, III. State Water Survey Div.*, 1953.
- LACHKEVITCH, K. A., «On calculation of the quantity of precipitation and how it is influenced by forests.» *Meteorologiya i Gidrologiya*, 6 (5-6): 117-118, 1940.
- LANG, C., «Ueber Messung der Niederschlagshoehen.» (Measurement of the height of rainfall), *Meteorologische Zeitschrift*, 1: 431-437, December, 1884.
- LARKIN, H. H., Jr., «A comparison of the Alter and Nipher wind shields for precipitation gages.» *American Meteorological Society, Bulletin*, 28 (4): 200-201, April 1947.
- LASKOWSKI, B. R., «Exposure of rain gages.» *Tycos, Rochester*, 16: 105-106, July, 1926.
- LASKOWSKI, B. R., «Exposure of rain gages.» *Monthly Weather Review*, 57: 506-507, December, 1929.
- LATHAM, Baldwin, «Experiments on the influence of the lip of rain gages on the quantity of water collected.» *British Association for the Advancement of Science*, 1879.
- LINDHOLM, F., «Is the accuracy of precipitation measurement dependent upon the area of the receiver of the gage?» *Monthly Weather Review*, 52: 262-264, May, 1924.
- LINSLEY, R. K., «New precipitation gage used by the Weather Bureau.» *Engineering News-Record*, 135: 127, October 4, 1945.
- LINSLEY, R. K., «Nipher, Alter, and other shields on snow gages compared.» *American Meteorological Society, Bulletin*, 28 (9): 443-444, November, 1947.
- LIUBOSLAVSKI, G., «Effect of the Nipher shield on gage performance.» (Vliianie Niferovoi zaschity na pokazaniia dozhderniera; Text in Russian). *Meteorologicheskii Vestnik*, 5: 4-6, Jan. 1895.
- LONG, T. L., «A comparison of snowfall catch in shielded and unshielded precipitation gages.» *American Meteorological Society, Bulletin*, 28 (3): 151-153, March, 1947.

- LÜTSCHG, O., «Zur Erforschung der Niederschlagsverhältnisse des Hochgebirges.» (Research on precipitation conditions in high mountains), *Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt Annalen* 1938, Zürich, An. 1 (65): 10-14, 1930.
- LÜTSCHG, O., «Der Kugelniederschlagsmesser Haas-Lütschg, Ein Beitrag zur Lösung des Niederschlagsproblems im schweizerischen Hochgebirge.» (The spherical precipitation recorder Haas - Lütschg. A report on the solution of the precipitation problem in the high mountains of Switzerland), *Gerlands Beiträge Zur Geophysik*, Vol. 50: 423-444, 1937.
- MAGOMEDOV, A. D., «Studying snow-cover distribution.» (K metodike nabliudeni nad raspredeleniem snezhnogo pokrova; Text in Russian). Rol' snezhnogo pokrova v zemledelii, Institut Geografii Akademii Nauk SSSR, *Izdatel'stvo Akademii Nauk SSSR, Moscow*, pp. 95-111, 1953.
- MALSCH, W., «Vergleich von Niederschlagsmessungen mit einem freistehenden und einem in die Erde versenkten Regenmesser» (Comparison of rainfall measurements with a free rain gage and one sunk in the ground). *Deutscher Wetterdienst in der U. S. Zone*, Berichte No. 35, p. 316-320, 1952.
- MAURER, J., «Einige Ergebnisse unserer höchsten Niederschlagssammler im Firngebiet» (Some results from our highest precipitation collectors in the glacial region). *Meteorologische Zeitschrift*, 32: 16-20, 1915.
- MELIN, R., «Snow surveying in Sweden.» Bull. N. 23, Sixième Assemblée Générale à Edimbourg du 14 au 26 Sept. 1936. *Assoc. Int. d'Hydrologie Scien. Transactions of meetings of the Int. Comm. of Snow and of Glaciers*, p. 123-132, 1936, Riga, 1938.
- MERCANTON, P. L., «Les Recherches de technique pluviométrique de la station centrale Suisse de Météorologie (M. A. Z.)» *International Geodetic and Geophysical Union. Association of Meteorology, Oslo, Norway*, p. 129-133, 1948.
- MERCANTON, P. L., «Recherches de technique pluviométrique.» (Investigations of pluviometric technique.) *Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt. Annalen* Pls. 3, 75 (8), 1938.
- MERCANTON, P. L., «Un pluviomètre aérodynamiquement neutre» (An aerodynamically neutral rain gage). *Helvetica Physica Acta*, 11: 553-556, Basel, 1938.
- MERCANTON, P. L., «Recherches de Technique Pluviométrique.» (Investigations of pluviometric technique). *Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt, Annalen*, 76 (9): 1-5, 1939.
- MERCANTON, P. L., «Les recherches de technique pluviométrique et la nouvelle carte des précipitations de la station centrale Suisse de Météorologie» (Research on rainfall technique and the new rainfall chart of the Swiss Central Meteorological Station). *La Météorologie*, Ser. 4 (15): 173-178, July-September, 1949.
- Meteorological Magazine, «Rain gages with rims of different shapes.» *Meteorological Magazine*, 55: 94, 1920.
- Meteorologische Zeitschrift, «Genauigkeit bei Regenmessen» (Accuracy in rain measurement). *Meteorologische Zeitschrift*, 24 (6): 156, April, 1889-90.
- MIDDLETON, W. E. K., «Meteorological Instruments.» *Toronto, University of Toronto Press*, 2nd ed., p. 102-116, 1943.
- MILL, H. R., «The development of rainfall measurement in the last forty years.» *British Rainfall*, 40: 23-45, 1900.
- MIROTVORSKAIA, N. K., «The effects of forest shelterbelts on meteorological conditions in the Southern Ukraine.» (Vliianie lesnykh polos na rezhim meteorologicheskikh elementov v usloviakh juga Ukrainy; Text in Russian). *Trudy Ukrainskogo N. — I. Gidrometeorologicheskogo Instituta*, 4: 59-61, 1955.
- MORDECAI, A., «Report of some meteorological observations made at Frankford Arsenal near Philadelphia.» *Franklin Institute Journal*, 26: 30-37, July, 1838.
- MOUGIN, M., «La Nivométrie» (The measurement of snow). *La Météorologie*, 70 (3): 254-268, 1927.
- NIPHER, F. E., «On the determination of the true rainfall in elevated gages.» *American Association for the Advancement of Science*, 27: 103-108, 1878.
- NIPHER, F. E., «Ueber die Bestimmung der wahren Regenmenge mittels hochaufgestellter Regenmesser» (Concerning the determination of the real amount of rain by means of highly placed rain gages). *Zeitschrift der Oesterreichischen Gesellschaft fuer Meteorologie, Wien*, 14: 250-254, 1879.
- NITZL, «Einfluss der Aufstellung des Regenmessers» (Influence of exposure on rain gages). *Oesterreichische Gesellschaft fuer Meteorologie Zeitschrift* (Vienna), Bd. 21: 238, 1886.
- OLDEKOP, E., (Instructions in choosing the exposure of a mountain raingage and in methods of reading it). *Tashkent*, (Russia), 1916.
- OMORI, S., «On the protection of the rain gage against the wind.» *Japanese Journal of Astronomy and Geophysics, Tokyo Transactions and Abstracts*, 4 (3): 13, 1927.
- ORLOV, G. I., «Test results of snow gages.» (Rezultaty ispytaniia dozhdemeroev raznogo ustroistva v razlichnykh usloviakh; Text in Russian with English summary). *Trudy Glavnoi Geofizicheskoi Observatorii*, No. 21: 3-30, 1938.



- PAGE, J. L., «Fencing around rain gages.» *American Meteorological Society, Bulletin*, 8: 172-173, November, 1927.
- PAGLIUCA, S., and C. F. BROOKS, «The measurement of precipitation on a windy mountain summit.» *American Geophysical Union Transactions*, No. 2: 385-393, June, 1934.
- PERS, R., «Note complémentaire sur la stéréopluviométrie» (Complementary note on stereopluviometry). *La Météorologie*, 75 (8): 106-113, 1932.
- PERS, R., «Relations entre les données pluviométriques et les précipitations totales recueillies par un bassin. Introduction à l'étude théorique de la stéréopluviométrie» (Relations between pluviometric data and the total precipitation collected in a basin. Introduction to the theoretic study of stereopluviometry). *La Météorologie*, 75 (8): 101-106, 1932.
- PERS, R., «Etude théorique sur la variation des précipitations avec l'altitude et de l'influence du relief sur les précipitations en haute montagne. Premiers résultats expérimentaux de stéréopluviomètres» (Theoretic study on the variation in precipitations with altitude and on the influence of relief on precipitations in the high mountains. First results of experiments with stereopluviometers). *La Météorologie*, 77 (10): 468-475, 1934.
- PHILIBERT, M., «Comparaison entre un pluviomètre-nivomètre 'Mougin' protégé et un pluviomètre 'Association Ordinaire' au poste du Puy-Chadrac» (Comparison between a shielded «Mougin» pluviometer-nivometer and an ordinary «Association» rain gage at the station of Puy-Chadrac). *La Météorologie* 75 (8): 89-91, January-March, 1932.
- POPOW, E., «Ueber die Messungen der Niederschlaege unter Polarverhaeltnissen» (Concerning the measurement of precipitation under polar conditions). *Meteorologicheskii Vestnik*, 6: 157, 1929. (In Russian originally). Reviewed by A. Schoenrock in *Meteorologische Zeitschrift*, November, 1929, 445-446.
- PURI, H. R., «Historical note on the catch of rain gages.» *Scientific Notes, Indian Meteorological Department, Calcutta*, 3 (18-30): 38-59, 1931.
- REED, W. G., «Note on the effects of rain gage exposure.» *Monthly Weather Review*, 43: 35-39, 318-322, July 1915.
- REED, W. G., and Howard M. LOY, «Water resources of Strawberry Creek, Berkeley, California.» *Monthly Weather Review*, 43: 35-39, January, 1915.
- RIESBOL, H. S., «Results from experimental rain gages at Coshocton, Ohio.» *American Geophysical Union Transactions*, Part I: 542-550, August, 1938.
- RIESBOL, H. S., «Report on exploratory study of rain gage shields and enclosures at Coshocton, Ohio.» *American Geophysical Union Transactions*, Part II: 474-482, 1940.
- RÖSTAD, A., «Ueber die Wirkung des Nipherschen Schutztrichters» (Concerning the effect of Nipher's protecting funnel). *Meteorologische Zeitschrift*, 41: 240-243, August, 1924.
- RÖSTAD, A., «Ueber die Wirkung des Nipherschen Schutztrichters» (Concerning the effect of Nipher's protecting funnel). *Meteorologische Zeitschrift*, 41: 266-272, July, 1925.
- RUSSELL, S., «Fencing around rain gages.» *Meteorological Magazine*, 62: 163-164, 1927.
- SALTER, M. de CARLE S., «The Nipher raingage shield.» *British Rainfall*, 60: 278-285, 1920.
- SANUKI, M., N. TSUDA, and S. KIMURA, «Water tank and wind tunnel tests on rain gage and windshield.» *Papers in Meteorology and Geophysics*, Vol. III, No. 1, *Met. Res. Inst., Tokyo*, 54-63, March, 1952.
- SAVINOV, S. I., «The measurement of snow precipitation.» (Ob izmerenii zimnikh osadkov; Text in Russian). *Trudy po Sel'skokhoziaistvennoi Meteorologii*, 20: 183-185, 1928.
- SCHIPCHINSKI, A., «The influence of exposure on raingages.» *Meteorologicheskii Vestnik*, p. 21-32, 1921.
- SCHMIDT, W., «Zur Pruefung von Niederschlagsmessern» (To test rain gages). *Meteorologische Zeitschrift*, 50: 267-269, July, 1933.
- SCHOENROCK, A. F., «Messung der Niederschlaege unter polaren Einflüssen» (Measurement of precipitation under polar influences). *Meteorologische Zeitschrift*, 46: 444-445, 1929.
- SCHOENROCK, A. F., «Zur Frage der Messung von Niederschlaegen» (On the problem of precipitation measurements). *Meteorologische Zeitschrift*, 49: 76-78, February, 1932.
- SCHUBERT, J., «Wald und Niederschlag um Westpreussen und Posen und die Beeinflussung der Regen- und Schneemessung durch Wind» (The forest and precipitation in West Prussia and Posen, and the influence of wind on rain and snow measurement). *Meteorologische Zeitschrift*, 23: 444, October, 1906.

- SIPRE (Snow, Ice and Permafrost Research Establishment, Corps of Engineers, U. S. Army) Report No. 12, *Bibliography on Snow, Ice and Permafrost*, prepared by the Library of Congress, Washington, D. C., Volumes 1 to 10, the latter dated July, 1956.
- SKOROBGATKO, B., (The water equivalent of snow caught in a gage compared to a section taken on the ground.) *Meteorologicheskii Vestnik*, p. 100-107, 1927.
- SPINNANGR, F., and ODD EIDE, «On the measurement of precipitation, I, Fanaraken Meteorological Observatory.» *Meteorologische Annaler*, 2 (5) : 223-236, 1945.
- SPINNANGR, F., and ODD EIDE, «On the measurement of precipitation, II, Lista Meteorological Station.» *Meteorologische Annaler*, 2 (8) : 263-278, 1947.
- STAAS, F., «Die Niederschlagsmenge in Barnaul nach dem Neuen und Alten niederschlagsmessern mit und ohne Schutzvorrichtung von 1882 Bis 1902» (Precipitation measurement in Barnaul according to new and old rain gages, with and without shields, from 1882 to 1902). *Meteorologicheskii Vestnik*, St. Petersburg, p. 87, 1903.
- STADE, Hermann, «Die Niederschlagsmessungen auf Berggipfeln» (Measurement of precipitation on mountain tops). *Wetter*, Berlin, 18 : 201-205, 1901.
- STEINHAUSER, F., «Neue Ergebnisse von Niederschlagsbeobachtungen in den Hohen Tauern (Sonnblickgebiet)» (New results from observations of precipitation in high mountains (Sonnblick area). *Meteorologische Zeitschrift*, 51 (1) : 36-40, January, 1934.
- STEVENSON, T., «On the defects of raingages with description of an improved form.» *Edinburgh New Philosophical Journal*, 33 : 12-21, 1842.
- STEWART, C. D., «Exposure of rain gage.» *Meteorological Magazine*, 58 (690) : 128-129, July, 1923.
- STEWART, C. D., «Experiments on the shielding of rain gages.» *Royal Meteorological Society (London), Quarterly Journal*, 52 : 55-72, 1926.
- STOREY, H. C., and E. L. HAMILTON, «A comparative study of rain gages.» *American Geophysical Union Transactions*, 24 (1) : 133-142, October, 1943.
- STOREY, H. C., and H. G. WILM, «A comparison of vertical and tilted raingages in estimating precipitation on mountain watersheds.» *American Geophysical Union Transactions*, 25 (3) : 518-523, 1944.
- STOW, F. W., «Raingage experiments at Hawsker, near Whitby, Yorkshire, 1871.» *British Rainfall*, p. 16-26, 1871.
- SYMONS, G. J., «Dr. Wild on the influence of dimensions and position upon the indications of rain gages.» *British Rainfall*, p. 11-23, 1885.
- TOL'SKII, A. P., «Zur Frage ueber den Vergleichbarkeit der Beobachtungen der Niederschlaege» (On the question of comparability of observations of precipitation). *Leningrad*, 1924.
- TOL'SKII, A. P., «The comparability of precipitation observations.» (O sravnimosti nabludenii nad osadkami; Text in Russian with German summary). *Zhurnal Geofiziki i Meteorologii*, 3, No. 1-2 : 43-60, 1926.
- TRET'IAKOV, V. D., «Measurement of precipitation.» (Izmerenie atmosferynykh osadkov; Text in Russian). *Trudy Glavnoi Geofizicheskoi Observatorii*, No. 34 : 30-40, 1952.
- U. S. Forest Service, U. S. Bureau of Reclamation, «Progress in snow-melt investigations at the Fraser Experimental Forest, Report No. 2, 1949 Season.» *U. S. Department of Agriculture, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station : Fort Collins, Colo., Report No. 2, June, 1951.*
- U. S. Weather Bureau, «Instruction for climatological observers.» *U. S. Weather Bureau, Circular B, 10th Ed.*, p. 17-30, November, 1952.
- VOLOKH, V. G., «Comparison of the standard and Tret'iakov gages.» (Sravnenie rezul'tatov pokazanii dozhdemera i osadkomera Tret'iakova po materialam seti stantsii; Text in Russian). *Trudy Glavnoi Geofizicheskoi Observatorii*, No. 34 : 41-57, 1952.
- WARNICK, C. C., «Report of the Committee on Snow, 1948-1949.» *American Geophysical Union, Transactions*, 30 (6) : 907-910, December 1949.
- WARNICK, C. C., «Wind studies on shielded snow gages.» *Proceedings of the Western Snow Conference*, Fort Collins, Colo., p. 37-44, Nov. 1950.
- WARNICK, C. C., «Experiments with windshields for precipitation gages.» *American Geophysical Union, Transactions*, 34 : 379-388, June 1953.
- WARNICK, C. C., «Influence of wind on precipitation measurements at high altitudes.» *Engineering Experiment Station, University of Idaho, Bulletin No. 10, Moscow, Idaho, April, 1956.*
- WARNICK, C. C., «Laboratory and field experiments with snow gages in Idaho.» *Proceedings of the Western Snow Conference*, Victoria, B. C., April 19-20, 1951, 19th Annual Meeting, pp. 57-68, July, 1951.
- Water and Water Engineering, «Rainfall.» *Water and Water Engineering*, 34 (400-407) : 53-55, 118-121, 153-155, 209-212, 298-301, 354-356, 393-395, February 20-August 20, 1932.

- WICHT, C. L., «Improvements in the gaging of rainfall.» *South African Forest Association Journal*, 12 : 19-28, 1944.
- WILD, H., «Einfluss der Qualitaet und Aufstellung auf die Angaben der Regenmesser» (Influence of the quality and exposure on the data from rain gages). *Repertorium fuer Meteorologie, Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, St. Petersburg*, 9 (9) : 1-23, 1885.
- WILSON, W. T., «Analysis of Winter Precipitation Observations in the Cooperative Snow Investigations.» *Monthly Weather Review*, V. 82, No. 7, pp. 183-195, July, 1954.
- WILSON, W. T., Discussion of «Experiments with windshields for precipitation gages», by C. C. Warnick, *American Geophysical Union Transactions*, V. 34, No. 3, 388, June, 1953.
- WILSON, W. T., «Discussion of 'Precipitation at Barrow, Alaska, greater than recorded' by Robert F. Black», *American Geophysical Union Transactions*, V. 35, No. 2, 206-207, April, 1954.
- ZHUKOVSKII, N. E., «Snowdrifts.» (O snezhnykh zanosakh; Text in Russian). *Trudy Opytno-Meliorativnoi Chasti Narodnogo Komissariata Zemledliia*, 30 : 5-12, 1923.
- ZYKOV, N. A., «Measuring winter precipitation with snow gages.» (Ob uchete zimnikh osadkov osadkomerami; Text in Russian). *Trudy Gosudarstvennogo Gidrologicheskogo Instituta*, 46 : 100-107, 1954.

# MESURE DES PRÉCIPITATIONS

## DEUX DISPOSITIFS AMÉLIORANT LA MESURE DES PRÉCIPITATIONS ET FACILITANT LA TRANSMISSION A DISTANCE DES RÉSULTATS

MM. F. LUGIEZ & A. DUMAINE

*ingénieurs au Service de la Production Hydraulique d'ELECTRICITE de FRANCE.*

### RÉSUMÉ

Le Service de la Production Hydraulique d'Electricité de France a réalisé deux dispositifs améliorant l'un la mesure des précipitations solides, l'autre les conditions de transmission à distance des résultats.

#### I. — *Pluviographe à volant thermique*

Destiné à assurer l'enregistrement continu des précipitations neigeuses, le dispositif retenu qui constitue un complément du pluviographe adopté par la MÉTÉOROLOGIE NATIONALE FRANCAISE est essentiellement caractérisé par un volant thermique constitué par une masse liquide contenue dans un entonnoir récepteur à double paroi. Cette masse liquide, maintenue à une température optimum par un chauffage à résistance réglé par thermostat, assure en cas de chute de neige la fusion régulière sans évaporation notable.

La chronologie de la précipitation est ainsi respectée avec une précision suffisante.

#### II. — *Pluviophone*

Le dispositif réalisé en vue de la transmission rapide des indications fournies par un pluviographe, notamment pour la prévision des débits à court terme, permet d'utiliser le réseau téléphonique public.

Déclenché par appel téléphonique, ce dispositif provoque l'émission successive :

- 1<sup>o</sup>) de l'indicatif de l'appareil en langage clair,
- 2<sup>o</sup>) du nombre de mm d'eau enregistrés depuis la remise à zéro journalière (en signaux sonores),
- 3<sup>o</sup>) d'un signal indiquant l'absence ou la présence de pluie au moment de l'émission.

ELECTRICITE DE FRANCE (Service de la Production Hydraulique) exploite pour ses besoins propres, dans les diverses régions où sont situées les centrales hydroélectriques, un important réseau météorologique.

Ce réseau comprend à l'heure actuelle :

- 900 stations pluviométriques ou météorologiques
- 165 appareils nivopluiomètres totalisateurs en haute montagne
- 550 stations où l'épaisseur et la densité de la neige sont mesurées périodiquement pendant la saison d'enneigement.

Le Service chargé de ce réseau et des études hydrométéorologiques a été conduit à étudier et réaliser divers dispositifs destinés soit à améliorer les conditions et les techniques des diverses mesures en cause, soit à faciliter leur transmission pour l'exploitation en vue des calculs de prévisions de débits.

On décrit ci-après deux dispositifs récemment mis en service :

- L'un, le *pluviographe à volant thermique* est considéré comme l'aboutissement de réalisations antérieures plus ou moins diverses, cherchant à résoudre le problème délicat de la mesure continue des précipitations neigeuses;



— L'autre, constitue une solution originale en matière de transmission à grande distance par fil, des indications d'un pluviomètre enregistreur. Ce dispositif, appelé « *Pluviophone* » utilise les possibilités de liaison offertes par le réseau téléphonique public.

## I — LE « PLUVIOGRAPHE A VOLANT THERMIQUE »

L'enregistrement continu de précipitations neigeuses n'est pas réalisable avec les types de pluviographes courants qui sont généralement prévus pour la seule mesure des précipitations liquides.

Pour les besoins particuliers de l'exploitation des usines hydroélectriques, on est cependant amené à prévoir des appareils dans des emplacements d'altitude telle que pendant une période de plusieurs mois, les chutes de neige deviennent prépondérantes.

Pour de tels emplacements, on a cherché à obtenir un appareil qui présenterait les caractéristiques suivantes :

- 1° — Respecter la chronologie de la précipitation neigeuse
- 2° — Limiter au maximum l'évaporation
- 3° — Assurer dans les conditions ci-dessus, la fusion de chutes pouvant atteindre 20 à 25 mm (valeur en eau)
- 4° — Utiliser un dispositif de réglage ne faisant pas appel à l'intervention de l'observateur.

Après examen des résultats de divers essais similaires, on a réalisé un dispositif qui constitue un complément au pluviographe à augets basculeurs adopté par la Météorologie Nationale Française et qui comporte essentiellement :

A — Un entonnoir récepteur à double paroi contenant une masse liquide faisant office de volant thermique

B — Un système de chauffage et de régulation de la température de la masse liquide, obtenu par résistances et thermostat à élément sensible liquide

C — Un calorifugeage du carter cylindrique supportant l'entonnoir et renfermant le mécanisme d'enregistrement.

D — Un dispositif d'expansion du liquide de l'entonnoir.

\* \* \*

A — L'étude des résultats de dispositifs similaires expérimentés par divers auteurs a conduit à renoncer à l'utilisation d'un chauffage direct de la surface réceptrice.

En effet, en raison de la faible inertie calorifique mise en jeu dans ce procédé, il était pratiquement impossible d'obtenir, à l'aide d'un système de régulation simple, une répartition et une stabilité de la température de la surface réceptrice compatibles avec les trois premières conditions recherchées.

On observait notamment que l'évaporation atteignait des valeurs nettement prohibitives — atteignant et dépassant 30 % de la précipitation mesurée par d'autres méthodes.

On a donc été conduit à étudier un dispositif assurant la transmission des calories nécessaires à la fusion de la neige par l'intermédiaire d'une masse présentant une capacité calorifique suffisante et permettant d'obtenir une répartition de la chaleur aussi régulière que possible sur la surface réceptrice.

On a opté, après plusieurs essais, pour un volant thermique constitué par une masse liquide d'un dérivé du pétrole. Certains dérivés du pétrole, du type fuel oil présentent en effet une chaleur spécifique convenable et d'autre part, leur viscosité assez faible permet des mouvements de convection suffisamment intenses pour obtenir



# PLUVIOGRAPHE A VOLANT THERMIQUE

coupe schématique

échelle 0.50 m

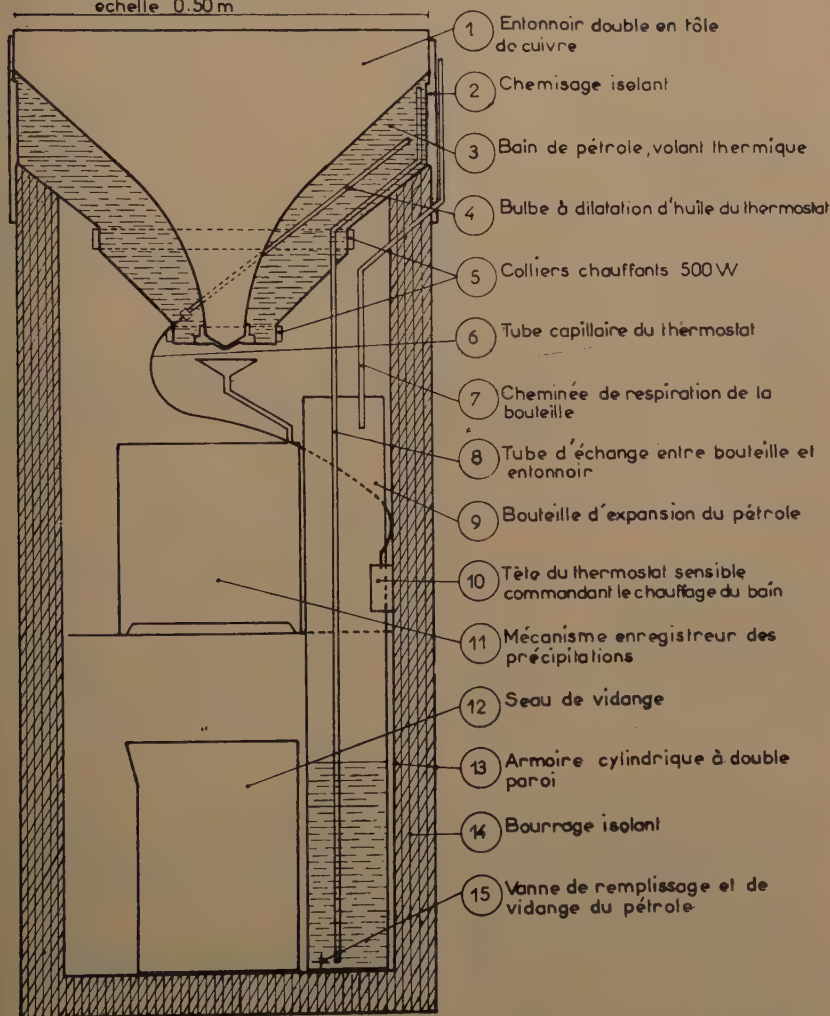


Fig. 1

une bonne répartition de la chaleur au sein de la masse liquide. De plus, leur coefficient de dilatation étant constamment positif dans la gamme de température où ils sont appelés à fonctionner, la transmission de la chaleur se fait toujours dans le sens voulu, vers la paroi supérieure.

Le volume du liquide est voisin de 30 litres; porté à 3° C, il a une capacité calorifique suffisante pour assurer, sans autre apport extérieur de calories, la fusion, sur la surface réceptrice de 2000 cm<sup>2</sup> de l'entonnoir, d'une quantité de neige équivalant

à 3 mm d'eau. En fait, ce volume permet d'assurer sous la puissance de chauffage normale, la fusion régulière de chutes de neige de l'ordre de 20/25 mm d'eau par heure, sans variation notable de la température. Celle-ci reste suffisamment faible pour éviter une évaporation importante et pour limiter, dans les cas les plus courants où la température extérieure ne descend pas au-dessous de  $-10^{\circ}\text{C}$  environ, les pertes par rayonnement de calories non utilisables à une valeur non prohibitive.

On notera donc que le rôle essentiel de la masse liquide est surtout de provoquer une transmission de la chaleur, avec une répartition aussi régulière que possible, à tous les points de la surface réceptrice. C'est au fond une application du vieux procédé du « bain-Marie ».

La masse liquide est logée entre les deux parois d'un entonnoir récepteur en cuivre dont la *fig. n° 1* donne les proportions.

**B —** Le chauffage de la masse liquide est assuré par 2 colliers chauffants circulaires, fixés à l'extérieur de l'entonnoir sur les parties cylindriques prévues à la partie inférieure de celui-ci.

La puissance totale du chauffage atteint 500 W.

Pour la régulation de la température, on a adopté un thermostat dont l'élément sensible est un liquide contenu dans un plongeur immergé dans la masse liquide.

La plage de sensibilité d'un tel élément autour de son point de réglage est de  $0,6^{\circ}\text{C}$ . On peut avoir ainsi un réglage de la température sur la surface réceptrice de l'ordre de  $1^{\circ}\text{C}$ .

Le point de fonctionnement du thermostat est réglable entre  $0^{\circ}\text{C}$  et  $+10^{\circ}\text{C}$ . En fait, le thermostat est réglé à une valeur comprise entre 2 et  $3^{\circ}\text{C}$ .

**C —** Pour limiter les pertes calorifiques à l'extérieur, le carter contenant le mécanisme du pluviographe a été muni d'un calorifugeage constitué par une enveloppe intérieure en « Klegecell » de 3 cm d'épaisseur.

Un élément chauffant d'appoint, constitué par 2 lampes de 60 Watts placées dans la partie inférieure du carter, sous le mécanisme, et réglé par un thermostat d'ambiance à bilame, maintient dans cette enceinte une température positive suffisante pour éviter le gel du liquide dans les diverses parties du mécanisme et limiter les effets de condensation.

**D —** Pour assurer une parfaite transmission des calories de la masse liquide à la paroi constituant la surface réceptrice de l'entonnoir, il importait d'avoir constamment un contact parfait du liquide et de la face interne de cette paroi malgré les dilatations et contractions non négligeables de la double paroi et du liquide, provoquées par les variations de la température extérieure. A cet effet, on a prévu un dispositif d'expansion constitué essentiellement par une petite bouteille en acier placée sous l'entonnoir et en communication avec celui-ci. Le liquide contenu dans l'entonnoir et le vase d'expansion est en légère dépression par rapport à la pression atmosphérique extérieure.

Ce dispositif permet notamment d'effectuer une fois pour toutes le remplissage de l'entonnoir et de ne plus avoir à se préoccuper de compléter le volume de liquide lorsque, à la suite d'une contraction, une partie de ce volume ayant été expulsée dans le vase d'expansion, une nouvelle dilatation de l'ensemble tendrait à laisser un vide de liquide sous l'entonnoir récepteur.

On obtient ainsi un chauffage régulier de cet entonnoir jusque sur les bords, et, en cas de chute de neige, on ne constate pas d'accumulation de neige sur les parties plus froides, ce qui pourrait provoquer des erreurs de mesure.

\* \* \*

Pour assurer la parfaite étanchéité du double entonnoir, celui-ci est réalisé par assemblage de deux parties, obtenues par repoussage, avec une pièce cylindrique centrale comportant l'orifice calibré. Les deux entonnoirs supérieur et inférieur sont fixés à la pièce centrale par brasure. Ils sont d'autre part réunis par leurs bords externes supérieurs par sertissage et soudure.

\* ■ \*

## RESULTATS

Plusieurs appareils de ce type sont en service dans les Alpes et le Massif-Central depuis la fin de l'année 1955.

Ce type d'appareil permettrait théoriquement d'obtenir la chronologie de la précipitation solide à 5 minutes près. En fait, seule l'imperfection du déroulement du tambour limite la précision de l'enregistrement.

Après mise au point des différents réglages, les résultats obtenus sont très satisfaisants. A titre d'exemple, nous donnons (*fig. n° 2*) pour un mois particulièrement neigeux (février 1957), la comparaison des résultats fournis par un pluviographe à volant thermique placé au TOUR (1460 m) dans la haute vallée de Chamonix, où, par ailleurs, les précipitations journalières avaient été mesurées avec soin par divers autres procédés classiques.

### *Mesure des précipitations a la station du TOUR en février 1957*

Date	Cuve	Pluviomètre	Pluviographe à volant thermique
7/2	13,3	13,8	12,6
9/2	22,0	22,6	21,7
10/2	10,8	10,6	9,5
11/2	24,4	30,8	29,8
13/2	12,0	12,2	11,6
14/2	46,4	43,8 <sup>(1)</sup>	49,8
15/2	32,4	33,4	33,7
16/2	14,0	14,2	13,3
17/2	2,0	2,0	1,8
19/2	8,4	9,0	8,3
21/2	16,8	16,9	15,4
23/2	24,8	24,8	25,0
24/2	43,2	45,3	45,8
25/2	77,6	65,4 <sup>(1)</sup>	74,7
26/2	(10,0)	10,9	10,0
27/2	6,0	5,6	5,8
Total du mois	364,1	361,3 <sup>(1)</sup>	368,8

Fig. 2

<sup>(1)</sup> Débordement du pluviomètre. Sans ces débordements, le total mensuel du pluviomètre aurait été voisin de 380 mm.

On voit que la différence entre la total mensuel des précipitations mesurées par l'appareil diffère de moins de 4 % de la valeur fournie par les appareils classiques.

En particulier, l'évaporation peut être considérée comme négligeable pour toute chute de neige supérieure à 1 mm d'eau à l'heure. Dans le cas de précipitations neigeuses continues, d'intensité très faible, tombant par temps très sec, il subsiste une évaporation pouvant être estimée à environ 1/10 de mm à l'heure.

## II — LE « PLUVIOPHONE »

L'idée d'un dispositif permettant de s'affranchir de l'intervention des observateurs pour obtenir, par l'intermédiaire du réseau téléphonique public, les indications fournies par un pluviomètre enregistreur, s'est imposée à ELECTRICITE DE FRANCE à l'occasion de la mise en œuvre des prévisions d'apports à courte échéance, nécessitant de rassembler dans des délais très courts des informations relatives aux précipitations recueillies dans les B.V. alimentant des usines hydroélectriques.

Dans le cas des prévisions d'apports à échéance de 4 jours, actuellement régulièrement élaborées dans le Massif Central, il est nécessaire de connaître les quantités d'eau tombées, dans un certain nombre de stations sélectionnées, au cours de la période de 24 heures se terminant à 8 heures du matin, heure à laquelle on effectue les calculs des valeurs d'apports à attendre. La prévision est normalement communiquée aux Services d'Exploitation entre 9 h et 10 h. de la même journée.

Le Centre Hydrométéorologique chargé d'établir ces prévisions doit donc, dans un délai très court, rassembler les résultats des mesures pluviométriques nécessaires aux calculs. Les stations pluviométriques sont généralement surveillées par des observateurs bénévoles que leurs occupations normales ne permettent pas toujours de contacter par téléphone aux heures où la nécessité l'impose. De plus, la distance même restreinte entre le pluviographe enregistreur et le domicile de l'observateur est une autre sujétion qui augmente sensiblement les délais de transmission.

On a donc été conduit à étudier un dispositif permettant d'établir une liaison directe entre le Centre Hydrométéorologique et les appareils. Ceux-ci étant situés à des distances du Centre pouvant dépasser 200 km, il n'était pas possible d'envisager la transmission des indications par une ligne spécialisée pour chaque appareil. La recherche d'une solution simple a également conduit à abandonner les liaisons radio difficiles en terrain montagneux sur des distances de cet ordre.

L'appareil dont le prototype a été réalisé par le Constructeur des stations météorologiques automatiques radio-émettrices de la Météorologie Nationale Française (Société Industrielle de Télécommande et de Télémécanique) à partir de certains éléments constitutifs de ces stations, permet d'utiliser le réseau du téléphone public pour obtenir communication des indications fournies par un pluviographe.

Le dispositif constitue un complément à une installation téléphonique normale d'abonné. Il est relié à un pluviographe (du type à augets basculeurs, modèle de la Météorologie Nationale) auquel a été adjoint un système émetteur d'impulsions très simple.

Il satisfait d'autre part à diverses conditions techniques exigées par l'Administration française des P.T.T.

Mis en marche par appel téléphonique, le dispositif provoque l'émission successive dans le circuit de ligne, des indications suivantes :

1<sup>o</sup>/ — Annonce en langage clair comportant :

— l'indicatif de l'appareil (numéro d'appel et localité)

— l'indication du type d'appareil,

cette émission est répétée pendant 36 secondes environ.



2°/ — Annonce des millimètres d'eau enregistrés depuis l'heure de remise à zéro journalière.

Cette annonce est faite sous forme de tops sonores donnant successivement le nombre de dizaines (tops aigus) puis le nombre d'unités (tops graves).

Ex. : nombre 37 = 3 tops aigus et 7 tops graves.

Elle est répétée 3 fois, chaque répétition durant 36 secondes environ.

L'énoncée du chiffre 0 unité est traduite par un top de durée prolongée.

3°/ — Emission d'un signal sonore spécial indiquant l'absence ou la présence de précipitations pendant la période d'environ 20 minutes précédant la communication (indication de pluviosité présente).

4°/ — Signal de fin d'émission. Les réseaux téléphoniques sur lesquels ces dispositifs sont généralement appelés à être installés, comportent des installations du type dit « à batterie locale » dans lesquelles l'abonné appelé doit signaler la fin de sa communication en envoyant un signal à fréquence alternative au moyen d'une magnéto.

Le dispositif envoie automatiquement ce signal de fin d'émission.

La durée totale de l'émission est un peu inférieure à 3 minutes.

On notera que le dispositif effectue en début et en fin d'émission, des opérations analogues à celles d'un abonné normal.

### Description sommaire

L'appareil comporte essentiellement :

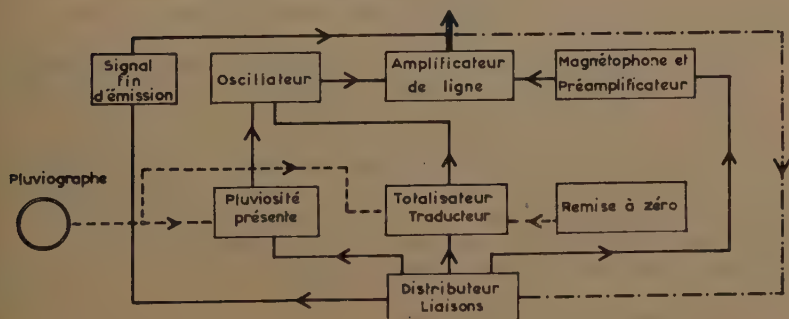
1. — Des organes électriques ou mécaniques assurant les liaisons des divers circuits et permettant la traduction des indications du pluviographe ainsi qu'un dispositif de remise à zéro journalière.

La commande des liaisons des divers circuits est assurée par un arbre à came distributeur, entraîné par un moteur électrique.

2. — Des organes assurant l'émission des indications parlées et sonores et comportant : magnétophone, amplificateur, oscillateur et redresseur. Ces derniers éléments sont du type classique à tubes électroniques.

### Schéma des Liaisons

Ligne P.T.T.



Les liaisons ——— sont établies pendant l'émission

Au repos la ligne P.T.T. se trouve reliée par le circuit - - - - -

Pendant l'émission la ligne est connectée à l'amplificateur de ligne

Les liaisons ..... sont assurées en permanence

Fig. 3



Le chauffage des tubes est du type tous courants. Il fonctionne en permanence. La figure N° 3 donne le schéma de principe des liaisons électriques entre les divers éléments constitutifs de l'appareil.

### *Fonctionnement*

Lors de l'appel téléphonique, le courant d'appel agit sur un relais provoquant la mise en route du moteur de commande de l'arbre distributeur, ainsi que le bouclage de la ligne sur le secondaire du transformateur de sortie de l'amplificateur de ligne.

La mise en route du moteur entraîne son auto-alimentation jusqu'à ce que l'arbre du distributeur ayant effectué un tour complet, la coupure de cette alimentation soit provoquée.

#### *1. — Annonce parlée*

L'annonce parlée est assurée par un magnétophone. Les indications sont enregistrées sur une bande sans fin.

Le distributeur provoque la mise en marche du moteur du magnétophone et la fermeture des circuits d'amplification, pendant la durée nécessaire à cette phase de l'émission, soit 36 secondes. L'annonce proprement dite durant 9 sec. se trouve répétée 4 fois. Aussi, il n'a pas été jugé utile de fixer le début de l'annonce en un point déterminé.

#### *2. — Indication de la hauteur d'eau enregistrée*

La transmission de ces indications met en jeu un ensemble totalisateur-traducteur qui comporte essentiellement un style se déplaçant devant un double collecteur. Le collecteur des unités comporte 100 plots; le collecteur des dizaines 10 plots.

Le mouvement du style est ascendant; son déplacement commandé à partir d'impulsions reçues du pluviographe est d'un plot par impulsion.

Chaque position du style correspond donc à une hauteur de pluie variable entre 0 et 99. La cadence des impulsions est telle qu'un plot correspond effectivement à 1 mm. d'eau.

La commande d'émission des tops est assurée par un arbre comportant 10 cames, correspondant aux chiffres 0 à 9. Cet arbre commandé par le même moteur que le distributeur, fait 1 tour en 36 secondes.

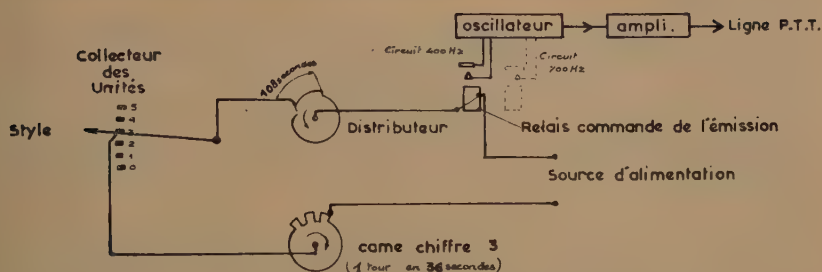
Chaque came provoque, par l'intermédiaire de deux lignes de balais reliés aux plots correspondants du totalisateur, le fonctionnement du relais commandant l'un ou l'autre des circuits oscillant à 700 Hz (aigu) ou 400 Hz (grave), le nombre de fois correspondant au chiffre à émettre (Cf. fig. 4).

Les deux lignes de balais sont diamétralement opposées, de sorte que les dizaines et les unités sont successivement émises à 18 sec. d'intervalle (la durée d'émission du chiffre 9 est inférieure à 18 sec.).

Cette phase de l'émission est commandée par le distributeur en provoquant l'application du style sur le double collecteur.

#### *3. — Indication de la pluviosité présente*

Un relais temporisé, actionné par les impulsions fournies par le pluviographe, établit pendant 20 minutes environ la fermeture du circuit d'alimentation d'un deuxième relais commandant l'émission d'un signal sonore long sur la fréquence aiguë.



Exemple de l'émission du chiffre 3

Les circuits et les cames des autres chiffres n'ont pas été figurés

Fig. 4

Si le relais temporisé n'a pas reçu d'impulsion, le dernier relais commande, sur la position de repos, l'émission d'un signal sonore long sur la fréquence grave.

Lors de cette troisième phase de l'émission, le distributeur provoque la fermeture de l'un ou l'autre des circuits d'émission (400 ou 700 Hz) sélectionné comme indiqué ci-dessus pendant une durée de 18 secondes. Suivant qu'il aura plu ou non dans les 20 minutes précédant l'émission, le dispositif émettra donc un signal de l'une ou l'autre tonalité.

### 3. Signal de fin d'émission, arrêt

Le distributeur provoque, en fin d'émission, l'envoi pendant 3 secondes d'un signal à 50 Hz dans la ligne téléphonique. Ce signal est simplement obtenu en couplant la ligne P.T.T. sur le secondaire d'un transformateur dont le primaire est traversé par le courant alternatif du secteur à 50 Hz.

L'arrêt est, comme nous l'avons dit, provoqué par le distributeur qui coupe l'alimentation du monte de commande. En même temps, le circuit de ligne P.T.T. est découplé du transformateur de sortie de l'amplificateur et est couplé sur le relais d'appel.

### 4. — Remise à zéro

Une horloge synchrone porte un contact réglable qui, à l'heure prévue, provoque la remise à zéro du totalisateur.

Pour ce faire, un relais provoque le débrayage du style sur son axe. Libre de tourner, celui-ci retombe à la position zéro, au bas du collecteur, par son propre poids.

Dans l'exploitation actuelle cette remise à zéro a lieu chaque matin à 9 h 30.

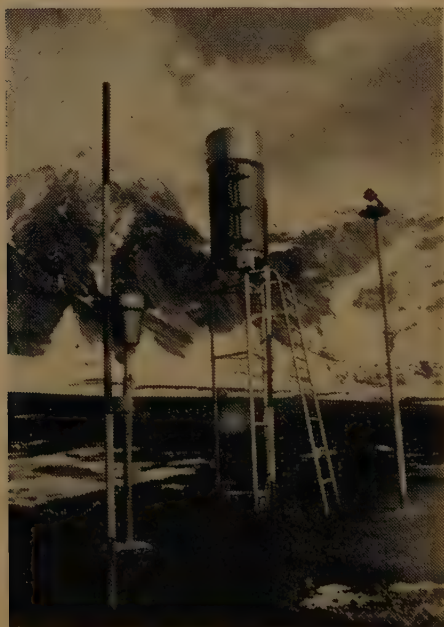
### Dispositions diverses

L'ensemble de l'appareil est réuni dans un coffret métallique, de  $50 \times 45 \times 25$  cm. Son poids est d'environ 25 kgs. La partie supérieure forme tiroir et contient

l'ensemble électronique, le magnétophone et les relais; la partie inférieure contient l'ensemble totalisateur, distributeur, moteur de commande, arbre à cames numérateur, horloge synchrone... etc.

L'appareil est installé au domicile de l'observateur. Il est relié au pluviographe par une ligne électrique à basse tension dont la longueur peut atteindre une centaine de mètres.

Un commutateur permet de mettre le dispositif en service ou hors service; dans ce dernier cas, la ligne P.T.T. se trouve couplée normalement au poste téléphonique de l'abonné ; le totalisateur et le relais de pluviosité présente continuent toutefois à fonctionner.



# PLUVIOMETRES AERODYNAMIQUES ORIENTABLES

par le Médecin Général

FÉLIX (EDMOND) PASTEUR

(France)

## RÉSUMÉ

Les difficultés de la mesure des précipitations atmosphériques sont connues et résultent le plus souvent en grande partie surtout de l'incidence de la chute de la pluie sous l'action du vent. Cette incidence s'exprime bien dans une formule de correction qui nécessite une nouvelle mesure de cet angle de chute ou de la vitesse du vent, mais ne peut toutefois tenir compte de la variabilité incessante du courant aérien, ni de la grosseur des gouttes d'eau si dissimilaires qui s'inclinent suivant leur poids. La moindre erreur d'appréciation rapportée de la surface relativement petite du pluviomètre à celle de l'hectare s'élève à plusieurs tonnes d'eau.

Quant aux appareils protecteurs contre le vent, leur usage en est fort discuté. Ils sont même accusés d'être insuffisants et de produire des contre-effets plus déplorable que ceux qu'ils seraient censés éviter. Aussi avons-nous tenté d'obtenir une plus grande précision en construisant deux pluviomètres aérodynamiques à girouette orientable par le vent lui-même, l'un composé d'un entonnoir à bascule, l'autre à manche en matière plastique semblable à ceux des aérodromes indicateurs de la direction du vent. Les quantités d'eau reçues sont comparées à celles d'un simple entonnoir témoin de même surface que les deux autres. Il n'est donc plus question ni de l'horizontalité de l'appareil, de pente du terrain, ni de direction et vitesse du vent, et cependant les résultats que nous produirons paraissent nettement démontrer leur supériorité. Ils peuvent d'ailleurs s'adapter par leur partie motrice sur les anciens appareils dont ils garderaient ainsi fort heureusement les divers et si utiles perfectionnements.

On a dit que la pluviométrie d'une région en représentait l'orographie quand toutefois certaines dispositions d'orientation et de voisinage ne modifient pas l'état des lieux. Aussi les hydrologues réservent-ils à cette partie de leurs études une attention toute particulière. Leurs mesures se font à l'aide d'appareils désignés pluviomètres, udomètres ou ondemètres. Parmi les plus connus et les plus utilisés citons le pluviomètre, simple entonnoir à récipient de zinc de l'Association scientifique de France, celui de Pixii à tube gradué, de Babinet à double réservoir, le décupleur et totalisateur Hervé-Mangon et celui du Parc de Montsouris, l'Enregistreur Richard à balance ou à flotteur du système Hellemann, le Totalisateur du modèle de la Ville de Paris... Tous immobiles présentent dans leur construction certains perfectionnements dans le but de recevoir d'abord intégralement la totalité de la pluie en évitant notamment son rebondissement au dehors, son évaporation consécutive, de connaître les variations de son débit de chute dans le temps et dans l'espace. Cette dernière condition nécessite l'emploi de nombreux appareils en raison de la fort inégale répartition des chutes de pluie dans une même région parfois très limitée.

On s'est préoccupé aussi pour les recevoir de l'emplacement, de la hauteur de leur installation, de leur altitude, de la pente du terrain, de la disposition des lieux et de leur entourage proche ou éloigné et de toutes les influences susceptibles de modifier les résultats dont les conséquences sont d'autant plus considérables qu'elles se multiplient en passant de la petite surface de réception d'un pluviomètre à celle d'une région s'évaluant par hectares. On a observé en effet au Parc Montsouris et au Parc Saint-Maur (Paris) que l'on constatait un déficit de 5 à 9 % et plus (Brazier) entre les Pluviomètres au niveau du sol et ceux qui sont de 1 à 2 mètres



au-dessus, ainsi que nous l'avons vérifié. De même à l'Observatoire, pendant 32 ans, l'appareil de la cour donnait une moyenne de 0,mm 577 quand celui de la terrasse à 28 m 78 au-dessus n'accusait que 0,mm 507. Pendant 3 ans à York, la moyenne annuelle était sur la cathédrale de 294,mm 75, sur le Muséum de 444,mm 72 et au sol de 540, mm pour des hauteurs respectives de 64 et 12 mètres 40 au-dessus du jardin attenant. Les remous d'air sur les toitures seraient cause de ces déficiences tandis que au niveau du sol le vent est freiné par toutes les irrégularités de sa surface bien que sa vitesse n'y soit jamais négligeable puis en s'élevant s'accélère et incline de plus en plus la trajectoire des gouttes de pluie. On a bien recours pour corriger ces incidences de la pluie par le vent à une formule qui en l'occurrence est des plus précieuses mais qui pourrait ne pas être résolue par quiconque, exige une ou deux mesures nouvelles. ne tient pas compte de la variabilité incessante du courant aérien, ni de la grosseur des gouttes d'eau plus ou moins inclinables suivant leur poids. D'autre part M. Serra, dans une remarquable étude sur la pluviométrie (Bruxelles 1951-T.III) admet que l'étude des perturbations dues au pluviomètre lui-même montre qu'il est illusoire de rechercher des dispositifs ((aérodynamiques)) neutres au vent parmi lesquels nous citerons les écrans protecteurs du genre Nipher, Bastamoff, de Haller, Witkiewitch qui ne seraient pas sans reproche de provoquer d'autres troubles aériens aussi funestes que ceux qu'ils doivent éviter.

J'ai donc pensé qu'il serait possible, au lieu de s'en protéger, d'utiliser le vent lui-même pour effectuer sa propre correction instrumentale et éviter à un personnel non initié ces difficultés d'installation et ces calculs que nous venons succinctement de rappeler. Dans cette intention nous avons construit deux modèles de pluviomètres aérodynamiques orientables par le vent et tournant par une pale de girouette. L'un est un entonnoir basculant s'inclinant au souffle du vent grâce à un petit panneau d'aluminium qui lui fait opposition. Cet entonnoir est placé entre les deux branches d'une fourche auxquelles il est fixé de part et d'autre à l'extrémité d'un des diamètres de son plan supérieur. Les deux autres extrémités de cette fourche très rapprochées sont soudées à l'intérieur d'un tube de métal qui tourne dans l'anneau d'un roulement à billes encastré solidement à ras d'un gros tube de caoutchouc qui par l'autre bout se place directement sur le goulot de tout récipient. Une collerette empêche tout suintement extérieur dans le réservoir. L'autre appareil est simplifié par la substitution à l'entonnoir d'un sac en matière plastique tel que ces manches d'orientation du vent en usage sur les aérodromes. L'ouverture est maintenue béante par cerclage métallique fixé lui même à une fourche comme l'entonnoir. Ce modèle plus léger est par conséquent encore plus sensible, plus mobile sous le vent que l'entonnoir en aluminium et n'a pas besoin de panneau à bascule. L'écoulement de l'eau se fait pour l'un et l'autre appareil par un petit tube de caoutchouc jointé au tube de l'entonnoir ou au fond tronçonné du sac. L'autre extrémité plonge dans le pluviomètre. Ce tube est assez long pour se prêter à son va et vient de balancement et il est lesté à son extrémité libre d'un bouton de métal perforé qui en l'alourdissant facilite son rappel dans le fond du récipient.

Des multiples expériences poursuivies pendant plusieurs années tant à Paris qu'à la campagne et toujours avec plusieurs appareillages différemment disposés par groupes ou dispersés et dans chaque cas dans des conditions météorologiques comparables, nous pouvons déjà conclure :

1. Dans un même lieu abrité ou en l'absence presque totale de vent tous nos pluviomètres peu espacés ont reçu sur une même surface de réception la même quantité de pluie quelque fut leur modèle ou leur hauteur au dessus du sol.

2. La stabilité des appareils est remarquable bien que ces pluviomètres ne fussent étayés au sol sur leur flanc que par quatre piquets de bois fichés en terre ou trois lourdes masses. Leur superstructure n'a pas été désemparée par le vent qui cependant au cours de nos observations a pu atteindre des pointes de vitesse de 20 mètres seconde.



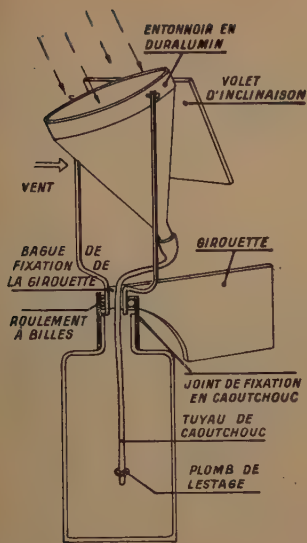


Fig. 1

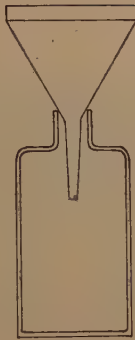


Fig. 2

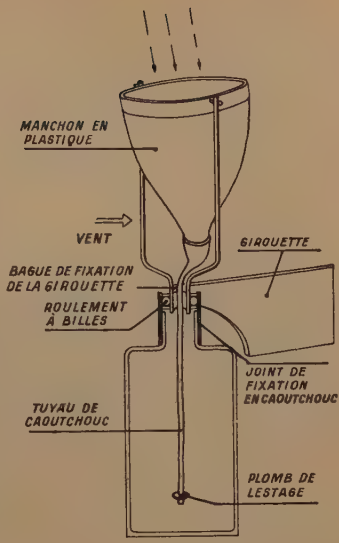


Fig. 3

## PLUVIOMETRES

à bascule

immobile

à manche

22	22	22
330	268	330
356	332	358
382	364	414
226	222	230
382	364	414
226	222	230
382	364	414
226	222	230
138	130	138
320	314	356
226	202	236
18	18	18
20	20	24
60	40	66
78	78	79
225	216	232
78	72	82
26	22	26
330	306	336
4051	3798	4235

3. Notons encore l'extrême mobilité de ces pluviomètres orientables dans leur rotation et inclinaison. Le pluviomètre à manche paraît pour ainsi dire happer la pluie au passage. Leur construction cependant est simple avec des matériaux communs. Ils pourraient être produits en série dans l'industrie et certes avec plus de perfection dans leur forme et leur fonctionnement. Ces pluviomètres toujours en équilibre quelque fut la pente du sol présentent leur surface de réception perpendiculaire à la trajectoire de la pluie. Elle est pour chacun d'eux en forme de cercle égale à un diamètre de 14 centimètres, soit  $154 \text{ cm}^2$  représentant la 64,5ième partie du mètre carré.

Pour ne pas surcharger outre mesure notre travail nous avons choisi ces 20 relevés particulièrement démonstratifs effectués du 7 au 25 août 1954.

Si nous prenons comme unité les quantités de pluie du pluviomètre immobile nous avons avec les deux autres les proportionnalités suivantes : à bascule  $4051 : 3798 = 1,067$  et à manche  $4235 : 3798 = 1,115$  et entre à bascule et à manche  $4235 : 4,051 = 1,045$  différences très sensibles dues très probablement à l'équilibration moins parfaite de notre appareil à bascule sur celui à manche. Elles le sont encore plus avec des appareils situés sur un toit. Nous avons obtenu le 9/8 1952 au sol  $195 : 110 = 1,77$  et sur le toit  $235 : 188 = 1,25$  entre orientables et immobiles et entre les deux orientables  $235 : 210 = 1,12$ . Ces proportions rejoignent celles que nous avons signalées au début de ce travail pour simplement la hauteur de l'installation entre le sol et 2 mètres, Brazier au Parc Saint-Maur 1,09, Observatoire (Paris) à 28 mètres 1,138 ; à York au Muséum à 12, mètres 40,1,214 et à 64 mètres sur la cathédrale 1,832. En conséquence il paraît bien en évidence que le pourcentage déficitaire de la pluie s'accroît avec la hauteur des pluviomètres sous l'influence du vent dont l'action est déjà très sensible au niveau du sol au point d'expliquer dans une certaine mesure des différences entre leur rendement et les quantités d'eau écoulée dans quelques rivières. Il s'en suivrait en conclusion que si on ne veut pas substituer les pluviomètres aérodynamiques orientables aux modèles anciens à cause sans doute des perturbations que ce changement entraînerait immédiatement mais aussi en raison de certains avantages de perfectionnements qu'ils comportent, d'en répartir au moins quelques uns à titre de témoins correcteurs et de contrôle dans les nouvelles recherches pluviométriques ou mieux, plus simplement, de les adapter sans difficulté par leur partie motrice sur les anciens appareils.

# GENERALIZING OF RAINFALL-INTENSITY-FREQUENCY DATA

D. M. HERSFIELD & W. T. WILSON

## SUMMARY

Examination of thousands of extreme-value rainfall distributions during the past few years forms the basis for the generalizations in this paper. A table and diagram are presented for estimating the 2-year 24-hour and 2-year 1-hour rainfall from such readily available climatic data as mean annual precipitation, mean annual number of days of rain, and mean annual number of thunderstorm days. Duration, frequency, and area-depth diagrams are also presented which can be used to obtain any combination of relationships for 20 minutes to 24 hours duration, one to 100 years return period, and area up to 400 square miles.

## INTRODUCTION

When an engineer designs a system for draining storm runoff from the surface of an airfield, he bases the capacity of his system on safety and economics. At one extreme, it would not be economical to make the drains so large that they would accommodate the maximum rainfall that could possibly occur. At the other extreme, it would not be economical to have water standing on the runways after every little shower. The engineering and economic analysis for airfields, highway culverts, small dams, urban drainage — in general, for structures whose overtopping or failure would not endanger human life — are usually on the basis of a storm that would be equalled or exceeded once in  $n$  years, where  $n$  (the return period) takes values from 2 to 100, depending upon the importance of the structure.

A rainfall depth that would be equalled or exceeded on the average of once every five years is known as a five-year storm, or has a return period of five years. The probability of this depth being equalled or exceeded is 0.20 in any one year, which is the same as one out of five, or ten out of fifty. This depth of rainfall would be equalled or exceeded an average of ten times during a 50 year period. This does not mean that such a storm occurs regularly every five years. Figure 1 shows the record of annual maximum rainfall for 24-hour duration at Washington, D. C. The five-year 24-hour rainfall for Washington for the period of record, 1871 to 1953, has been computed by Gumbel<sup>1</sup> analysis to have a value of 4.09 inches. This value is shown as a dashed, horizontal line on the figure, and it may be seen that it has been equalled or exceeded on the average about once every five years. However, from year to year, its occurrence is very irregular. From 1906 to 1921 inclusive, a period of 16 years, the value was not reached once, but this value was equalled or exceeded in the three consecutive years 1933, 1934 and 1935. This example illustrates the irregular nature of the intervals between recurrences of an event of given magnitude in a long period of record. This average interval in years is, by definition, the return period.

# MAXIMUM ANNUAL 24-HOUR RAINFALL FOR WASHINGTON, D.C. (1871-1953)

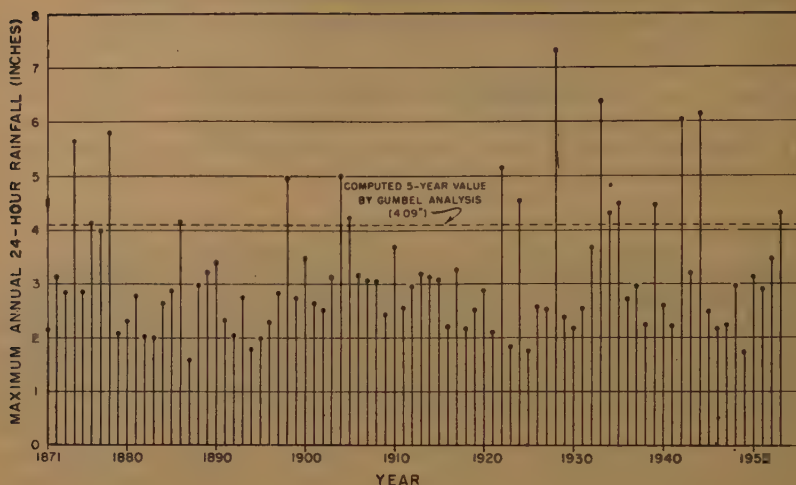


Fig. 1

## POINT RAINFALL ESTIMATES WITH LIMITED DATA

It is occasionally necessary to estimate the 2-year 24-hour rainfall for a place in a region where there are no quantitative rainfall data. Study of several climatic and other parameters has led to an indirect method of estimating daily rainfall frequencies. The two most readily available parameters are mean annual rainfall and mean annual number of days of rain. There is a fairly good correlation of rain per rain-day (mean annual rainfall divided by the number of days having rain equal to or exceeding 1 mm, or 0.04-inch) and the 2-year 24-hour rainfall. This average relationship is expressed in the following table, based on 200 U. S. stations.

Rain per rain-day (inches)	0.2	0.3	0.4	0.5
2-year 24-hour rainfall (inches)	1.4	2.2	3.1	4.2

It should be stated that the term rain, as distinguished from precipitation, has been used loosely, but examination of records has shown that in most places where a drainage structure is to be planned, the larger values of precipitation are in the form of rain instead of snow.

For many drainage areas there is a need for an estimate of rainfall having a shorter duration than 24 hours. Where the requisite data are lacking, but where there is an estimate of 24-hour rainfall and the mean annual incidence of thunderstorm days, a diagram such as Fig. 2 can be used. This figure is based on 50 stations in northern North America<sup>2</sup>, and expresses the 2-year 1-hour rainfall as a function of thunderstorm incidence and the mean of the maximum annual series of observation-day rainfall.

There are situations where short-duration intensity-frequency data are needed, where there are ample daily data, but only a few short-duration data near the point of interest. For stations having these short-duration data, values can be determined of the ratio of 2-year, 1-hour to 2-year, 24 hour rainfall and plotted on a map. Isopleths of this ratio can then be drawn and the proper value of this ratio applied to the 24-hour data at the point of interest.

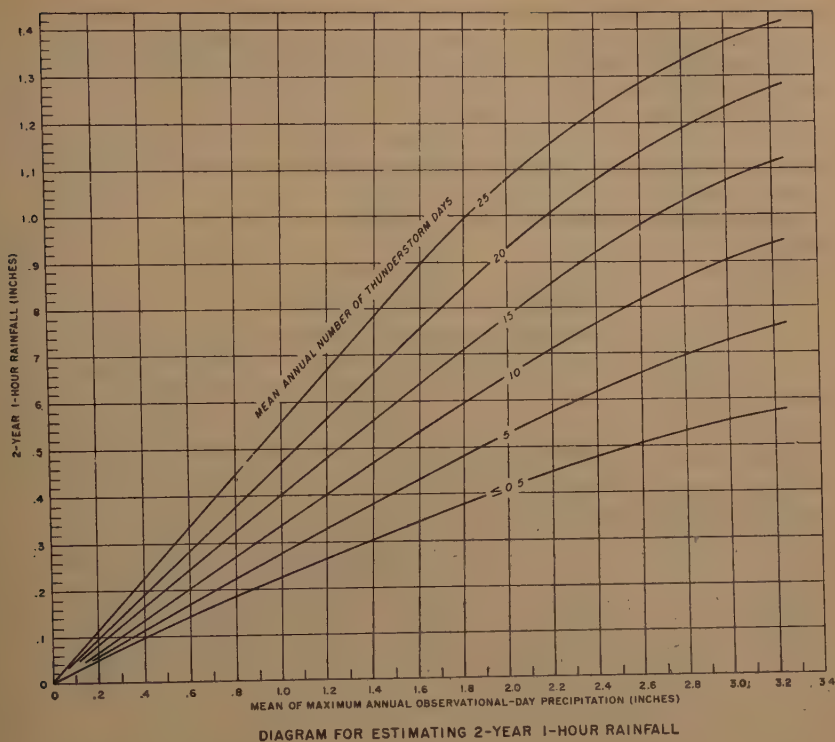


Fig. 2

## TRANSFORMATIONS

Because of the different manner in which data are observed and compiled, it has been necessary to derive empirical relationships to transform from one kind to another. For example, the mean of the maximum annual series corresponds to the 2.3-year return period, and is almost exactly 6 percent greater than 2-year rainfall. This fact saves much labor in making estimates of 2-year values.

Most data are published on a clock-hour or observational-day basis. It has been determined that, on the average, the maximum rainfall in any consecutive 60-minute period is 13 percent greater than the clock-hour rainfall for the same frequency for the corresponding period of record at most stations. Similarly, and by coincidence, the same factor applies to daily rainfall; to convert observation-day rainfall for a particular frequency to the maximum 1440-minute rainfall for the same frequency, multiply by 1.13.

Another useful type of transformation relates the annual series to what is known as the partial-duration series. The annual series is composed of the maximum value for each year of record. The partial-duration series is composed of the maximum  $N$  or more values from the  $N$  years of record. It would be laborious to maintain a compilation of the partial-duration series, so the annual series is usually the only one readily available. But the partial-duration series represents the basis for structure



design. The second-highest value for some years may exceed the highest values for other years. While the highest value of record is common to both series, and some of the other high values also may be common to both series, it usually happens, that for shorter return periods there is a systematic bias between the two series. On the average, this bias can be expressed in terms of the following factors: 2-year 1.13; 5-year 1.04; 10-year 1.01. The two series converge at higher return periods. To convert a 2-year annual series value to the 2-year partial-duration series value, multiply it by 1.13.

Figure 3 illustrates the two series, showing how they diverge for shorter return periods.

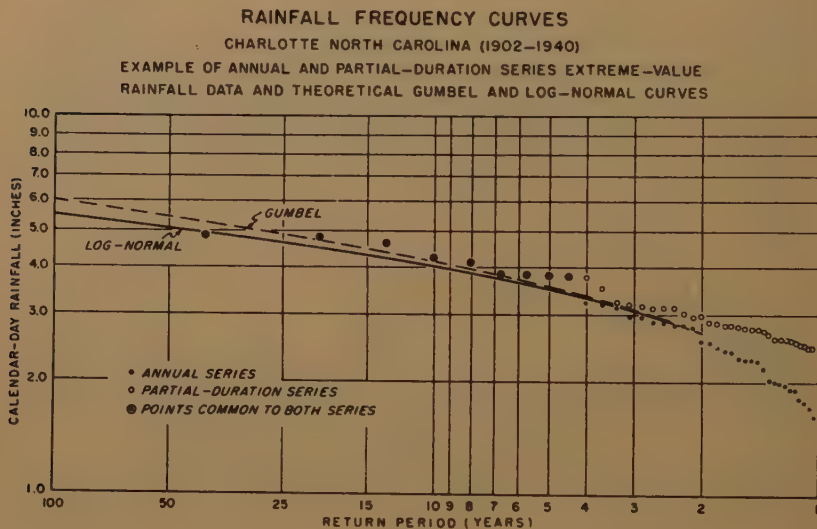


Fig. 3

#### DURATION RELATIONSHIPS

Where the 24-hour and 1-hour values for a given return period have been established, they can be used for estimating values for other durations. It has been found that the mean of the 24 hour and 1-hour values for a given return period has an average duration of nearly 6 hours. Diagram A of Fig. 4<sup>3</sup> provides a method for estimating rainfall depths for durations between 1 and 6 hours, and intensities for durations of 20 to 60 minutes. To use this diagram, a straight edge is laid across the values given for 1 and 6 hours, and the values for other durations are read at the proper intersections. Similarly, Diagram B of Fig. 4 is used to estimate rainfall depths for durations between 6 and 24 hours.

#### FREQUENCY RELATIONSHIPS

In regions where it is necessary to derive values of 2-year rainfall values by indirect methods, it is useful to have some idea of what the values are for longer return periods. In general, the ratio of 100-year to 2-year rainfall averages about

Table 1-2, with three examples, outlines the steps in the order they should be carried through in solving for the required rainfall intensities or depths. (The table and figure numbers refer to maps and diagrams in U. S. Weather Bureau, Technical Paper No. 29, Part 1.)

TABLE 1

1.	Location	36°00' N 82°00' W 25-Yr 3-Hr Rainfall (In) for 100 sq. miles	39°00' N 84°00' W 50-Yr 12-Hr Rainfall (In) for 400 sq. miles	37°00' N 89°00' W 15-Yr 30-Min Int (In/Hr) for 50 sq. miles
3.	2-Year 1-Hour Rainfall. Fig. 2-2 (map)	1.4 In.	—	1.6 In.
4.	2-Year 6-Hour Rainfall. Fig. 2-3 (map)	2.2 In.	2.1 In.	2.5 In.
5.	2-Year 24-Hour Precip. Fig. 2-4 (map)	—	3.0 In.	—
6.	Straightedge connecting (3) and (4) or (4) and (5) intersects required duration Diagrams A or B	(2-Yr 3-Hr) 1.9 In.	(2-Yr 12-Hr) 2.5 In.	(2-Yr 30-Min) 2.5 In/Hr.
7.	100-Yr 1-Hr Rainfall ÷ 2-Yr 1-Hr Rainfall Fig. 2-5 (map)	2.1	—	1.9
8.	100-Yr 6-Hr Rainfall ÷ 2-Yr 6-Hr Rainfall Fig. 2-6 (map)	2.3	2.0	2.1
9.	100-Yr 24-Hr Precip. 2-Yr 24-Hr Precip. ÷ Fig. 2-7 (map)	—	2.0	—
10.	(7) × (3)	(100-Yr 1-Hr) 2.9 In.	—	(100-Yr 1-Hr) 3.1 In.
11.	(8) × (4)	(100-Yr 6-Hr) 5.1 In.	(100-Yr 6-Hr) 4.2 In.	(100-Yr 6-Hr) 5.3 In.
12.	(9) × (5)	—	(100-Yr 24-Hr) 6.0 In.	—
13.	Straightedge connecting (10) and (11) or (11) and (12) intersects required duration. Diagram A or B	(100-Yr 3-Hr) 4.1 In.	(100-Yr 12-Hr) 5.1 In.	(100-Yr 30-Min) 4.6 In/Hr.
14.	Straightedge connecting (6) and (13) gives required period. Diagram C	3.3 In.	4.6 In.	3.5 In/Hr.
15.	Percent of Point Rainfall Diagram D	85	87	69
16.	(15) × (14) gives (2)	2.8 In.	4.0 In.	2.4 In/Hr.

Diagram A, INTENSITY OR DEPTH OF RAINFALL FOR DURATIONS LESS THAN 6 HOURS

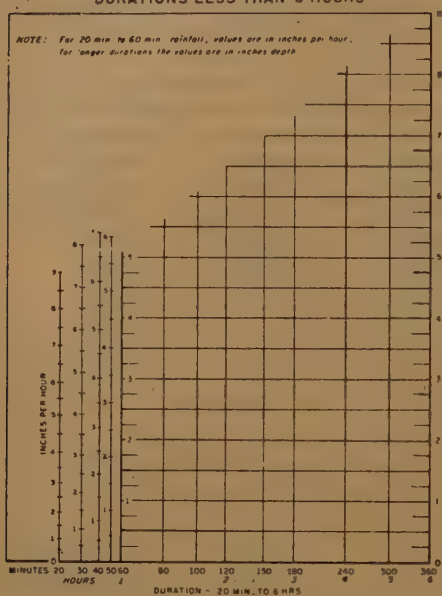


Diagram B, DEPTH OF RAINFALL FOR DURATIONS OF 6 TO 24 HOURS

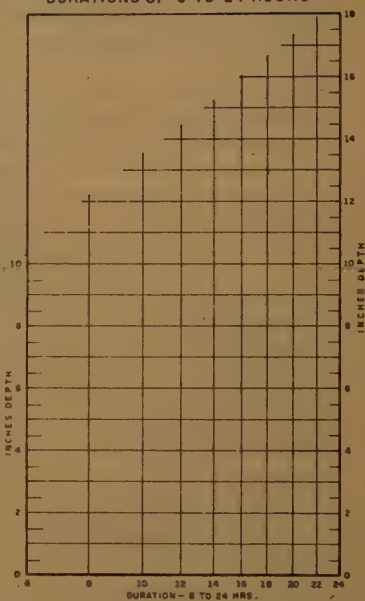
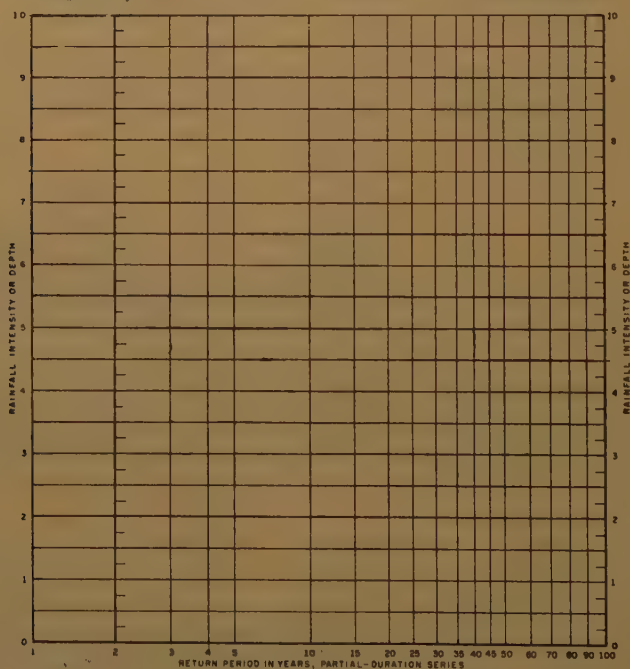


Diagram C, RAINFALL INTENSITY OR DEPTH VS RETURN PERIOD



NOTE: To use this diagram for values greater than 10, a factor of 10 may be used, as with a slide rule, with proper attention to the decimal point. If more convenient, other factors such as 2 or 5 may be used.

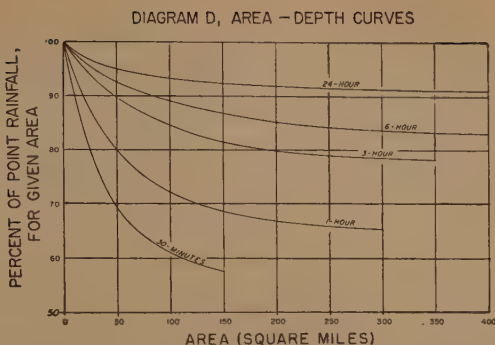


Fig. 6

2.2, with a standard deviation of 0.3. This is based on partial-duration data from 200 U. S. stations for durations of one and 24 hours. There is some regional variation, but thus far it has not been possible to express this regional variation in a way that can be transposed to other continents.

Having estimated or computed the 2-year and 100-year values of rainfall, but needing estimates of rainfall for the same duration for intermediate return periods, diagram C of Fig. 4 can be used. A straight-edge laid across the 2-year and 100-year values for a given duration intersects the values for other return periods. If values from a straight line on either Gumbel or log-normal<sup>4</sup> paper are transformed by the factors given earlier for annual series vs partial-duration series for 2-, 5- and 10-year return periods, and plotted on diagram C, they will lie very nearly on a straight line.

#### RELIABILITY OF SINGLE STATION ESTIMATE

Few stations have more than fifty years of recorder-gage data. This is too short a record for good definition of rainfall values for 50- and 100-year return periods. Yet, designers request such estimates. An example of the limitations of a fifty-year record is illustrated in Fig. 5 for Hartford, Connecticut. The hurricane rainfall of August 1955 was 12.1 inches in one day. The highest daily rainfall, until then, had been 6.7 inches. This one event increased the estimated 100-year, 24-hour rainfall value about 40 percent.

Comparison of Fig. 5 with Fig. 5, which shows typical Gumbel and log normal curves, suggests that the choice of methods for fitting curves to frequency data involves differences that are almost trivial compared with the possible sampling error of a single record. To reduce the sampling error of a single station it is desirable to examine data that may be available from nearby stations, and if there is little or no orographic influence, an average of the data from several stations may provide a better estimate of the regime of a locality. For example, the 100-year 24-hour value in Iowa, a plains area of 50,000 sq mi in midwestern U. S., varies from less than 5 inches to nearly 8 inches among 70 stations having average record length of more than 50 years. Except for a very slight general trend across the State, no reasonable causes can be assigned to this variation. There are no mountains. Accordingly, the variation must be regarded as mostly random sampling error, and the 70-station average value of 6.0 is a better estimate for any place in the State than most of the individual station records would give singly.

# RAINFALL FREQUENCY DATA FOR HARTFORD, CONN. (1905-1955)

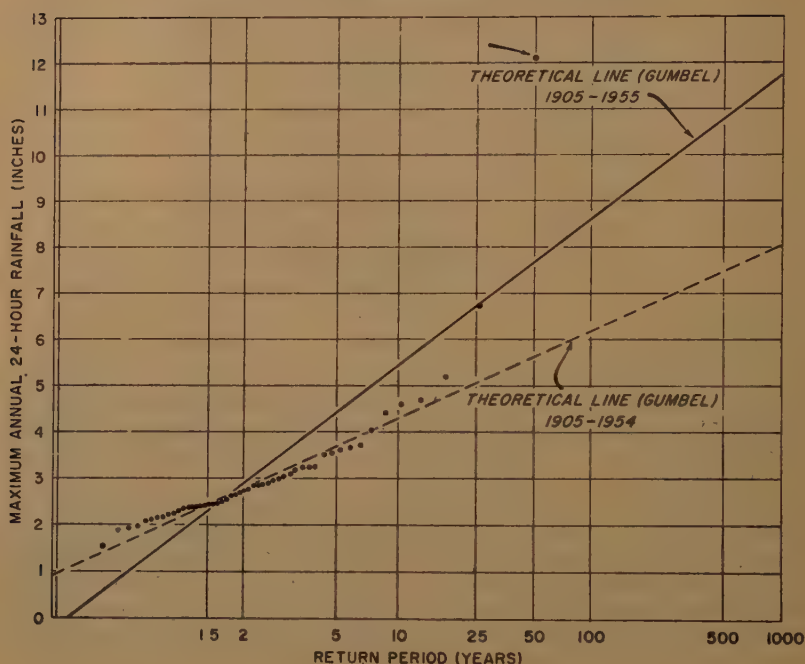


Fig. 5

## AREA-DEPTH RELATIONSHIPS

For drainage areas larger than a few square miles some consideration must be given not only to point rainfall, but to the average depth over the entire drainage area. The average area-depth relationship, as a percent of the point values, has been determined for several areas up to 400 sq mi in eastern U. S. For example, the average value of 10-year 3-hour rainfall for points in a 200 sq mi drainage area might be 4.0 inches, but the average 3-hour depth over the drainage area would be less than 4.0 inches for the 10-year return period. Fig. 6 shows this relationship of area to depth, and the 3-hour curve intersects the area scale at 200 sq mi. Accordingly, the 10-year 3-hour average depth over 200 sq mi in this example would be 0.8 times 4.0, or 3.2 inches. Table 1 which gives other examples for convenience in using the diagrams.

## REFERENCES

- (1) GUMBEL, E. J., The return period of flood flows, *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol. XII, pp. 163-190, June 1941.
- (2) U. S. Weather Bureau, Rainfall intensities for local drainage design in Arctic and sub-arctic regions of Alaska, Canada, Greenland, and Iceland, Washington, D. C., September 1955.
- (3) U. S. Weather Bureau, Rainfall intensity-frequency regime, Part I: The Ohio Valley, *Technical Paper No. 29*, Washington, D. C., June 1957.
- (4) CHOW, VEN TE, The log-probability law and its engineering applications, *Proceedings American Society of Civil Engineers*, Separate No. 536, Vol. 80, November 1954.



# INTENSITÉ ET COVARIOMÉTRIE DES PRÉCIPITATIONS JOURNALIÈRES DANS L'OUEST DE LA FRANCE

CH. P. PEGUY ET MELLE G. CHAPIN  
(France)

## RÉSUMÉ

1. Une étude systématique de l'intensité des précipitations journalières en Bretagne, portant suivant les stations sur 10 ou 20 ans, montre la grosse supériorité numérique des précipitations journalières inférieures à 2 mm. Au-dessus, la distribution observée s'ajuste assez bien à une distribution de Galton.

2. Pour une période limitée à 4 ans (1931-1934, période un peu ancienne choisie pour des raisons pratiques de documentation), les auteurs ont étudié de proche en proche, en s'aidant d'un petit dispositif mécanique mis au point pour la circonstance (fiches perforées) l'extension des aires de précipitations sur le littoral breton. — Un premier groupe de résultats repose sur la simple considération du caractère pluvieux, ou non-pluvieux, de chaque jour de la période considérée, pour deux stations voisines; on établit ainsi un premier indice, purement qualitatif, de « covariation », rappelant ceux que COUTAGNE avait déjà proposés pour tester les co-variations saisonnières. Un second groupe de résultats tient compte de la valeur plus ou moins forte des précipitations concomitantes en répartissant celles-ci entre des classes d'intensité donnée.

Pour l'un et l'autre des indices proposés, les résultats opposent nettement le littoral de la Manche à celui de l'Atlantique. Le premier présente, entre stations même éloignées, de fortes corrélations : la pointe de Bretagne et celle du Cotentin témoignent ainsi, par exemple, de précipitations concomitantes significativement plus nombreuses que ne le voudrait la distance. Au contraire, sur le littoral atlantique, une nette discordance apparaît entre Belle-Ile et Noirmoutiers, îles entre lesquelles, malgré une distance inférieure à 100 km, les précipitations ne coïncident qu'assez rarement.

Dans le texte de la présente communication, nous appelons :

*précipitations journalières* les hauteurs de précipitations recueillies au cours de périodes successives de 24 heures (l'épithète de « journalier » paraît préférable à celle de « quotidien » qui impliquerait l'idée qu'il pleut tous les jours).

*variométrie* des précipitations en un point A l'étude statistique de la distribution des précipitations journalières en ce point.

*covariométrie* des précipitations entre deux points A et B l'étude du caractère contingent — ou non-contingent — des précipitations journalières en A et en B, ainsi que du degré de « corrélation » pouvant exister entre les hauteurs d'eau recueillies, chaque jour successif, en A et en B.

La « covariométrie » des précipitations, si on l'étend de proche en proche entre un nombre suffisant de postes, permet d'aborder de façon rationnelle l'étude de la *répartition spatiale* des pluies. Une telle étude est d'une grande portée, soit qu'on se place dans les perspectives de la météorologie dynamique, soit qu'on cherche à déceler, sur le plan régional, le jeu des facteurs topographiques constants <sup>(1)</sup>. Mais

(1) Dans un ordre d'idées voisin, on peut étudier le degré de corrélation existant entre les *régimes* pluviométriques de stations voisines. Cette méthode a été esquissée par l'un de nous pour les Alpes du Sud (PEGUY, Haute Durance et Ubaye, thèse Lettres, Grenoble, Arthaud, 1947).

il est évident que pour être satisfaisante, l'étude statistique des covariations pluviométriques ne peut être menée qu'en connaissant au préalable la distribution des précipitations en chacun des points étudiés.

Nous avons mené l'étude de la covariométrie selon deux méthodes différentes. La première reste purement qualitative : elle consiste à apprécier le caractère plus ou moins contingent de l'apparition simultanée du phénomène « pluie » en A et en B au cours d'une même période de 24 heures. La deuxième est quantitative, c'est à dire qu'elle fait intervenir la valeur des précipitations recueillies dans l'un et l'autre de ces points. Dans les deux cas, le principe est de comparer les résultats effectivement observés aux valeurs qui seraient à escompter dans le cas où les deux phénomènes — précipitations en A et en B — seraient totalement indépendants l'un de l'autre.

1. *Covariation qualitative.* Le caractère pluvieux d'une journée est, pour chaque station, reporté sur une fiche spéciale par une perforation. Le modèle de fiche utilisé comporte 731 cases; il en faut une par station qui sert pour deux années. A des jours non-pluvieux correspondent sur chaque fiche des cases non-perforées. En superposant deux à deux les fiches relatives aux diverses stations de la zone étudiée on décèle immédiatement, par superposition des perforations, le nombre des jours où il a plu simultanément dans les deux stations du couple. Une étude de ce genre a été menée pour une vingtaine de stations du littoral armoricain; on a donné ci-dessous, à titre d'exemple, le détail des calculs pour les deux couples Belle Ile (Le Talud) — Noirmoutiers (Bois de la Chaise). d'une part, Ile de Batz — Cherbourg d'autre part.

Au cours des 4 années analysées le nombre de jours de précipitations (on sait que sont considérés comme tels, en France, les jours dont les précipitations ont dépassé 0,1 mm) a été :

Belle Ile	654	)	précipitations
Noirmoutiers	525	)	concomitantes : 398
Batz	719	)	précipitations
Cherbourg	737	)	concomitantes : 562

Une première estimation du degré de contingence ou de liaison existant entre les phénomènes retenus peut être obtenue très simplement en formant le *rapport des précipitations concomitantes de chaque couple à la moyenne géométrique des précipitations observées dans l'une et l'autre des stations*. Ces rapports sont ici de 0,68 pour le couple Belle Ile — Noirmoutiers et de 0,77 pour le couple Batz — Cherbourg. Nous prenons ainsi une première notion de la liaison plus étroite qui apparaît dans ce second couple; bien que la distance qui en sépare les deux postes soit déjà considérable.

Mais nous aurons une vision plus complète de la chose en dressant un petit tableau donnant, pour chaque couple, le détail des observations faites dans les quatre cas possibles de groupement des caractères considérés :

TABLEAU 1.

Pluie à Belle Ile.				Pluie à Batz.			
		non	oui			non	oui
Pluie à Noirmoutiers	oui	127	398	Pluie à Cherbourg	oui	175	562
	non	680	256		non	567	157

Si les précipitations à Belle Ile et à Noirmoutiers étaient totalement *indépendantes* les unes des autres, le théorème des probabilités composées permettrait de déterminer le nombre de cas de précipitations simultanées dans les deux stations d'un couple. Nous aurions ainsi, entre Belle Ile et Noirmoutiers :

$$\frac{654 \times 525}{1.461} = 235, \text{ (pour 4 ans).}$$

= nombre de cas (dans l'hypothèse d'une indépendance totale)  
et d'une façon plus générale, nous pourrions construire le tableau suivant :

TABLEAU II

*Précipitations simultanées, et non-simultanées, dans l'hypothèse d'une indépendance totale des deux stations de chaque couple.*

Pluie à Belle Ile					Pluie à Batz.						
<u>non    oui</u>					<u>non    oui</u>						
Pluie à Noirmoutiers	{	oui	290	235	525	Pluie à Cherbourg	{	oui	374	363	737
		non	517	419	936			non	368	356	724
			807	654				742	719		

On voit que le nombre de jours de pluie simultanée réellement observée à Belle Ile et à Noirmoutiers — table I : 398 — est sensiblement plus fort que celui que l'on devrait observer dans le cas d'une indépendance totale des deux phénomènes — tableau II : 235 —. Ce rapport est ici en effet de :

$$\frac{398}{235} = 1,69$$

En formant ces mêmes rapports  $\frac{\text{nombre des cas observés}}{\text{nombre des cas attendus}}$  pour chacune des cases des tableaux I et II nous formons le tableau III suivant :

TABLEAU III

Pluie à Belle Ile.					Pluie à Batz.				
non    oui					non    oui				
Pluie à Noirmoutiers	{	oui	0,44	1,69	Pluie à Cherbourg	{	oui	0,47	1,55
		non	1,31	0,61			non	1,54	0,44

En appelant « cas conformes » les cas de précipitations simultanées, ou d'absence simultanée de précipitation dans les deux stations, et « cas contraires » ceux

où les précipitations n'ont été observées que dans l'une seulement des deux stations nous exprimerons la corrélation existant entre les deux stations par un coefficient *qualitatif* obtenu en divisant la différence des rapports relatifs aux cas conformes et de ceux relatifs aux cas contraires par la somme des quatre rapports. Soit ici pour le couple Belle Ile — Noirmoutiers :

$$C = \frac{1,31 + 1,69 - 0,44 - 0,61}{1,31 + 1,69 + 0,44 + 0,61} = 0,48$$

et pour le couple Batz — Cherbourg :

$$C = \frac{1,54 + 1,55 - 0,47 - 0,44}{1,54 + 1,55 + 0,47 + 0,44} = 0,54$$

L'idée de ce *coefficient qualitatif de corrélation* a été empruntée à COUTAGNE qui l'avait appliqué entre autre à l'étude des corrélations existant entre les caractères thermiques et pluviométriques des saisons successives. Mais notre prédécesseur appelait saison « chaude » ou « humide » toutes celles dont les températures, ou les précipitations, dépassaient la *médiane*. Il combinait donc entre eux des caractères dont la probabilité était, par construction même, de 0,5. Son coefficient pouvait dès lors porter directement sur le nombre de cas observés. La complication que nous avons introduite en faisant intervenir les rapports des nombres de cas observés aux fréquences hypothétiques dans l'hypothèse d'une contingence absolue a pour but d'étendre légitimement l'emploi de la formule à des phénomènes dont la probabilité d'apparition est sensiblement différente de 0,5.

Notre coefficient C varie de  $-1$  à  $+1$ . Il est de  $-1$  si tous les jours pluvieux dans une station sont secs dans l'autre; s'annule dans le cas d'absence totale de liaison entre les précipitations entre les deux stations et est enfin égal à  $+1$  si tous les jours pluvieux dans une station le sont également dans l'autre, et vice-versa.

2. *Le problème de la « distribution » des précipitations.* Le résultat qui vient d'être obtenu paraît certes intéressant, et peut déjà conduire à des représentations cartographiques si on l'applique à un nombre suffisant de stations judicieusement réparties. Mais la coïncidence, le même jour, de précipitations excédant 20 mm dans un pluviomètre et n'atteignant qu'une fraction de millimètre dans l'autre n'aura pas la même signification que des précipitations de 10 mm dans chacun d'eux. Aussi est-il légitime de chercher à préciser davantage le caractère contingent, ou non-contingent, des précipitations en faisant intervenir la *valeur* de celles-ci. Mais il devient indispensable d'étudier au préalable, de façon plus approfondie, la *distribution* des précipitations journalières en chacun des points (variométrie).

Pendant longtemps, les climatologues se sont contentés, pour schématiser cette distribution, de faire appel au quotient de la hauteur d'eau annuelle par le nombre de jours de précipitations : ce quotient constitue l'« intensité des précipitations » : 800 mm de précipitations se répartissant ainsi dans l'année moyenne sur 160 jours donnent une « intensité » de 5 millimètres.

L'intensité des précipitations est, si l'on veut encore, « la quantité d'eau qui tombe en moyenne par jour les jours où il pleut ».

Si cette donnée a pu satisfaire les premiers géographes qui cherchaient avant tout à dégager les caractères majeurs de nos grandes « régions naturelles » (une intensité de l'ordre de 10 mm correspond assez bien au domaine du climat méditerranéen), il faut reconnaître par contre qu'elle se trouve dénuée, aux yeux du statisticien, de toute signification rigoureuse, ou du moins de la signification qu'on entendait précisément lui donner. L'intensité des précipitations, telle que nous l'avons définie, est en effet une moyenne arithmétique : on sait qu'une telle moyenne ne



peut être retenue comme paramètre de schématisation d'une variable statistique que si celle-ci possède une distribution grossièrement symétrique : or, tous les exemples connus de distribution des hauteurs d'eau recueillies chaque jour échappent précisément à cette condition préalable.

On observe en effet partout, dans nos régions, que les précipitations qui ont le plus de « chances » de se produire sont des précipitations *faibles* — de l'ordre de un ou deux millimètres par période de 24 heures —. Si les pays méditerranéens ont une intensité « moyenne » supérieure à celle des pays armoricains, c'est qu'ils possèdent un assez grand nombre de jours apportant 30, 50, voire 80 mm d'eau en 24 heures, phénomène que les seconds ignorent à peu près complètement. Or on sait que les moyennes sont très sensibles aux variations des valeurs les plus élevées d'une série statistique.

Des formules, comme celle menant à l'indice de dissymétrie de TRASK, (quotient du produit des quartiles par le carré de la médiane), permettraient de chiffrer la dissymétrie, toujours fortement accusée, de ces distributions.

En éliminant, tout d'abord, le cas des chutes exceptionnelles, on reconnaît que les fréquences cumulées des précipitations journalières s'alignent en général assez bien selon une droite sur un graphique comportant une échelle logarithmique pour les hauteurs de pluie par 24 h. et une échelle de probabilité pour les fréquences. Il s'agirait donc d'une distribution de GALTON. Dans certains cas, il semble que l'on ait affaire, non à une droite unique, mais à deux segments de droite se raccordant selon un angle très obtus. Notre figure 1 donne, en tirets, les fréquences cumulées

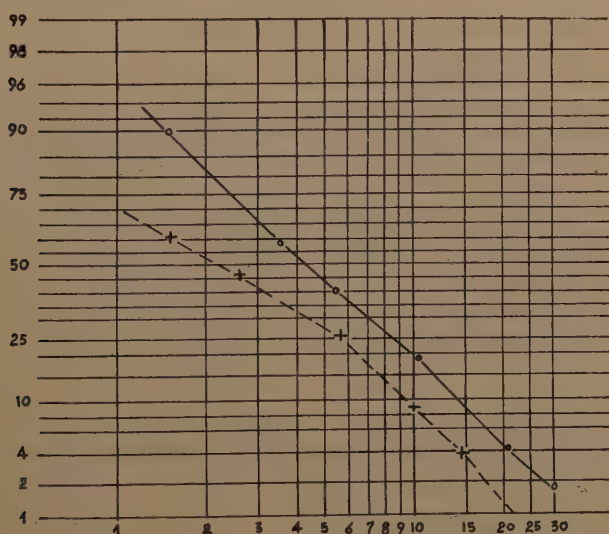


Fig. 1

des précipitations journalières d'une station armoricaine du littoral (Ile de Batz) et en trait plein celle d'une station armoricaine de l'intérieur (Fougères). Si l'on voulait schématiser à tout prix une telle distribution par une valeur numérique unique, il faudrait à notre sens préférer à la moyenne la *médiane* de cette distribution. On reconnaît qu'à Batz la moitié des jours de pluie reçoivent moins de 2 mm, tandis qu'à Fougères la moitié reçoivent plus de 4 mm. Mais cette médiane n'indique pas



encore grand chose si l'on n'a quelque idée de la pente de la courbe cumulative, c'est à dire de la plus ou moins grande dispersion des données : on donne déjà quelque indication sur cette dispersion en indiquant la fréquence des précipitations journalières d'un ordre de grandeur assez élevé, par exemple 20 millimètres.

Quant aux précipitations *nettement exceptionnelles* leur distribution paraît répondre à une loi s'appliquant non plus à leur fréquences relatives (rapport du nombre de jours de précipitations supérieures à  $p$  mm au nombre total de jours de précipitation), mais à leurs fréquences absolues (nombre de jours de précipitations supérieures à  $p'$  mm par décade, ou par siècle). L'étude de ces précipitations exceptionnelles est d'ailleurs restée, provisoirement, à l'écart de nos préoccupations : les graphiques que nous avons établis pour chaque poste sur le modèle de notre figure 1 se limitent à la fréquence 1 %, c'est à dire aux précipitations que se trouvent dépassées une fois sur 100 jours de pluie, soit environ 1,5 fois par an.

En conclusion, il paraît rationnel, dans une étude systématique des précipitations en un point, d'aboutir à l'élaboration des données suivantes :

- hauteur moyenne des précipitations en millimètres.
  - nombre de jours de précipitations.
  - valeur de la précipitation journalière *médiane* (celle qui est dépassée une fois sur deux les jours où il pleut).
  - hauteur du dernier *décile* des précipitations journalières (hauteur dépassée une fois sur dix les jours où il pleut).
  - fréquence absolue des précipitations supérieures à 20 mm.
- (la répartition *saisonnière* des précipitations n'étant pas évoquée ici).

3. *Covariation quantitative.* En possession des résultats précédents, nous allons procéder dès lors comme suit :

On détermine, pour chaque station, un ou plusieurs « seuils » qui peuvent être, soit la médiane des précipitations journalières, soit des valeurs symétriques par rapport à celles-ci. Dans le premier cas, on procédera, pour les seules précipitations supérieures à la médiane comme on avait procédé plus haut sur les précipitations de toute valeur. Dans le second cas, les deux seuils retenus limitent entre eux une « zone neutre » dont les données sont considérées comme non-significatives. Trois jeux de fiches doivent être ici utilisés : on y perforera respectivement les jours de précipitations classées comme « faibles », « non-significatives » et « fortes ». Par superposition, on relèvera le nombre des cas correspondant, pour les deux stations du couple, à des précipitations simultanées de la même classe.

Voici le détail d'un tel classement obtenu d'après les observations réelles de 4 ans :

TABLEAU IV

Pluie à Belle Ile						Pluie à Batz					
(a) (b) (c) (d)						(a) (b) (c) (d)					
Pluie à Noirmoutiers	(c)	28	22	56	106	Pluie à Cherbourg	(c)	34	30	114	178
	(b)	52	42	43	137		(b)	60	28	37	125
	(a)	85	39	31	155		(a)	174	38	47	259
	(d)	165	103	130	398		(d)	268	96	198	562

(a) : précipitations « faibles » — (b) : précipitations « non significatives » —  
(c) : précipitations « fortes » — (d) : nombre total de jours de précipitations.

Notons bien que le nombre total des cas sur lesquels portent de tels tableaux correspond aux seuls cas des « pluies concomitantes » (case en haut, à droite) de notre tableau I : 398 pour Belle Ile — Noirmoutiers et 562 pour Batz — Cherbourg.

Le calcul se poursuit comme ci-dessus en notant que les fréquences des précipitations respectivement faibles, moyennes et fortes s'établissant à Belle Ile selon les rapports 165/398; 103/398 et 130/398, et à Noirmoutiers selon les rapports 155/398, 137/398 et 106/398 nous pouvons établir le tableau de fréquences des diverses combinaisons possibles des deux phénomènes dans le cas où ceux-ci seraient totalement indépendants (tableau V).

TABLEAU V

(répartition des précipitations simultanées, dans l'hypothèse d'une indépendance totale des deux stations de chaque couple).

Pluie à Belle Ile						Pluie à Batz.					
(a) (b) (c) (d)						(a) (b) (c) (d)					
Pluie à Noirmoutiers	(c)	44	27	35	106	Pluie à Cherbourg	(c)	85	30	63	178
	(b)	57	36	44	137		(b)	60	21	44	125
	(a)	64	40	51	155		(a)	123	45	91	259
	(d)	165	103	130	398		(d)	268	96	198	562

Le rapport des valeurs observées à celles qu'on peut déduire de l'application du théorème des probabilités composées donne :

TABLEAU VI

Pluie à Belle Ile					Pluie à Batz.				
(a) (b) (c)					(a) (b) (c)				
Pluie à	(c)	0,64	0,82	1,60	Pluie à	(c)	0,40	1,00	1,80
Noirmoutiers	(b)	0,92	1,20	0,95	Cherbourg	(b)	1,00	1,33	0,84
	(a)	1,33	0,97	0,60		(a)	1,40	0,86	0,52

Un coefficient numérique peut se calculer comme nous l'avions fait d'après les données du tableau III en ne retenant ici que les données portées dans les 4 cases situées dans les angles du carré de covariation. On a pour le couple Belle Ile — Noirmoutiers :

$$C = \frac{1,33 + 1,60 - 0,64 - 0,60}{1,33 + 1,60 + 0,64 + 0,60} = 0,41$$

et pour le couple Batz — Cherbourg :

$$C = \frac{1,40 + 1,80 - 0,40 - 0,52}{1,40 + 1,80 + 0,40 + 0,52} = 0,55$$

Une analyse de cet ordre, se proposant de comparer les données d'observations à des considérations théoriques de contingence déduites des fréquences marginales pourrait certes être menée par d'autres méthodes — faisant intervenir, par exemple, le test  $\chi^2$  — Nous nous sommes bornés au calcul de coefficients numériques très simples parce qu'il nous est apparu que les résultats obtenus pouvaient être aisément *cartographiables*, donc être plus aisément interprétés dans le cadre d'une climatologie régionale.

Les exemples numériques sur lesquels nous nous sommes étendus montrent avec netteté que des précipitations de même ordre de grandeur coïncident plus fréquemment entre Batz et Cherbourg qu'entre Belle Ile et Noirmoutiers, résultat d'autant plus remarquable que quelques 200 kilomètres séparent l'une de l'autre les deux stations du premier couple, contre 90 seulement pour celles du second. Ainsi la Pointe de Bretagne et celle du Cotentin paraissent elles bien ressortir d'un même ensemble climatique tandis que Belle Ile et Noirmoutiers, malgré leur plus grande proximité, paraissent appartenir à deux domaines distincts qui s'étendent de part et d'autre de l'embouchure de la Loire.

Les calculs effectués jusqu'ici au Laboratoire de Géographie de l'Université de Rennes n'intéressent encore que des stations littorales et une station de l'intérieur (Pontivy) : leur extension à d'autres stations de l'intérieur doit permettre la présentation d'une carte des « aires pluviométriques journalières » en Bretagne.

# RÉPARTITION DES PRÉCIPITATIONS SUR UN BASSIN VERSANT DE FAIBLE SUPERFICIE

P. CAPPUS  
(France)

## RÉSUMÉ

L'étude des mesures pluviométriques effectuées sur le bassin Expérimental d'Alrance (3 Km<sup>2</sup>) pendant les années 1951 à 1956, montre que, même en pays vallonné, la répartition des précipitations sur un bassin versant de faible superficie est loin d'être uniforme, et qu'elle est de plus très variable.

Les ascendances d'air humide provoquées par le relief de ce bassin versant n'entraînent qu'un accroissement négligeable des précipitations : la répartition moyenne est avant tout liée à l'action du vent.

On étudie successivement la répartition moyenne des pluies et des neiges, puis la répartition des précipitations annuelles, mensuelles et journalières; on montre ainsi l'influence des différents facteurs sur la répartition : forme de la précipitation (pluie ou neige), abondance de la précipitation, caractère de la précipitation (pluie d'orage ou pluie cyclonique ou de front), vitesse et direction du vent.

La comparaison des précipitations mesurées à 150 et 20 cm au-dessus du niveau du sol montre l'importance des erreurs que l'action du vent introduit dans la mesure des précipitations en un point.

De l'étude de la répartition des précipitations, on déduit enfin la précision de la mesure de la moyenne des précipitations sur le bassin au moyen d'un, de deux ou de plusieurs pluviomètres et les règles qui doivent présider au choix des emplacements des pluviomètres dans un pays analogue au point de vue du relief et du régime des vents.

La mesure précise des précipitations sur un bassin versant est un des premiers soucis de l'hydrologue; la précision d'une telle mesure est liée à la répartition des précipitations sur le bassin et aux variations possibles de cette répartition; la connaissance des variations des précipitations sur de petites distances est donc nécessaire pour les études hydrologiques de bassins versants de faible superficie; elle est tout aussi utile dans le cas des bassins versants de dimensions quelconques : même si un pluviomètre est destiné à représenter une surface très étendue, le choix de son emplacement doit tenir compte des variations locales des précipitations.

Jusqu'à présent, l'étude de la répartition des précipitations sur des bassins versants de faible superficie (de l'ordre de quelques Km<sup>2</sup>) a été faite surtout dans des zones montagneuses ou fortement accidentées <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup> <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup> : à cette échelle tous les auteurs soulignent l'importance de l'influence du vent <sup>(6)</sup> <sup>(7)</sup> <sup>(8)</sup> <sup>(9)</sup> <sup>(10)</sup>. Pour les régions de relief moins accentué, on ne dispose que de résultats épars <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup>.

D'ailleurs, malgré l'importance qu'il présente en hydrologie, le problème de la variabilité de la répartition des précipitations n'a été abordé que pour des réseaux pluviométriques relativement peu serrés <sup>(13)</sup> <sup>(14)</sup> <sup>(15)</sup>; sur les bassins de faible étendue, on n'a étudié que la répartition moyenne des précipitations.

Les mesures pluviométriques effectuées sur le Bassin Expérimental d'ALRANCE contribueront à combler ces lacunes.

## A — DESCRIPTION DU RESEAU PLUVIOMETRIQUE DU BASSIN EXPERIMENTAL D'ALRANCE.

Le bassin expérimental d'ALRANCE s'étend sur 3,1 Km<sup>2</sup> de terrain vallonné (altitude 770 à 960 m.); les pentes sont en général assez douces (10 à 15 %), localement

plus accusées en bordure de la vallée de la SAIGNERIE (25 à 30 %); à la limite du bassin, la colline de PEYREBRUNE présente même des pentes de l'ordre de 30 à 40 % (carte 1.)

11 pluviomètres, A, B, F, G, H, I, E, D, K, C, L, sont répartis sur le bassin versant (densité moyenne : 1 pluviomètre pour 0,28 Km<sup>2</sup>) — (Carte 1); ils sont restés en service de 1951 à 1956. Nous disposons également de mesures effectuées au point J (sommet Ouest de la colline de Peyrebrune) (1951-1953) et à l'usine hydroélectrique d'ALRANCE (1955-1956). Ces pluviomètres sont du type « Association » sans écran protecteur (surface réceptrice de 400 cm<sup>2</sup>, horizontale, à 1,5 m. au-dessus du sol). Leurs emplacements sont en général parfaitement bien dégagés et éloignés de tout obstacle qui pourrait perturber les mesures; cependant, en B, H et L, bien que les pluviomètres aient été implantés suivant la règle habituelle (distance de l'obstacle supérieure à deux fois la hauteur de l'obstacle), des arbres et des haies peuvent intercepter une partie des précipitations; le pluviomètre L a été déplacé d'une centaine de mètres au début de 1954 et installé au point M parfaitement dégagé.

A partir de 1954, chaque pluviomètre, A, B, etc. a été doublé d'un pluviomètre A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, etc... du même type, dont la surface de réception est à 20 cm. au-dessus du sol.

## B — PRECIPITATIONS MESUREES ET PRECIPITATIONS REELLES.

Les pluviomètres du Bassin Expérimental sont soumis à des vents violents (vitesse moyenne 1951-1956 à 3 m. au-dessus du sol : en A : 3,5 m/sec en G : 5,5 m/sec.; sur les crêtes, de l'ordre de 7 à 8 m/sec.). *Les mesures pluviométriques dont nous disposons sur le Bassin Expérimental sont donc des mesures par défaut des précipitations* : comme nous ne connaissons ni les vitesses du vent en chacun des

CARTE 1  
Bassin Expérimental d'Alrance.  
Relief. — Emplacements des pluviomètres.





points de mesure, ni la loi de variation de l'erreur de mesure en fonction du vent, nous ne pouvons pas calculer les précipitations réelles à partir des précipitations mesurées.

Les résultats des pluviomètres  $A_1$ ,  $B_1$ , etc... fournissent une indication sur les erreurs de mesures dues à l'action du vent dans le cas des pluviomètres A, B, etc... La vitesse du vent à 20 cm. au-dessus du sol est moins forte qu'à 150 cm. (environ les 2/3) — on vérifie que les précipitations mesurées à 20 cm. sont d'autant plus supérieures aux précipitations mesurées à 150 cm. que le point de mesure est plus exposé au vent : en moyenne 3 % en A, 8 % en G, 15 % en K, etc... ; la valeur moyenne de l'erreur de mesure due à l'action du vent est donc, pour les pluviomètres placés à 150 cm. au-dessus du sol, supérieure à 3 % en A, à 8 % en G, à 15 % en K, etc...

Nous allons étudier la répartition sur le bassin des précipitations mesurées et en tirer, dans la mesure du possible, des conclusions relatives aux précipitations réelles.

## C — REPARTITION DES PRECIPITATIONS

Nous étudions la répartition des précipitations sur le Bassin Expérimental en considérant, pour chaque point de mesure, les valeurs du rapport  $r$  des précipitations  $p$  mesurées en ce point pendant une période déterminée à la moyenne  $P$  des précipitations mesurées aux 6 points A, B, F, G, H, I, pendant la même période.

La répartition des précipitations et sa variabilité sont très différentes suivant que les précipitations tombent sous forme de pluie ou sous forme de neige.

## I — PLUIES

### a. Répartition moyenne des pluies

Le tableau 1 donne, pour chaque point de mesure, le valeur  $r_m$  du rapport  $r$  correspondant au total des précipitations tombées sous forme de pluie pendant une longue période — en général 1951-1956 — (On s'est limité aux pluies des mois de Mars à Novembre).

#### 1. Influence du vent :

On constate que la pluviosité mesurée en un point est d'autant plus faible que ce point est plus exposé au vent d'Ouest et que la pente du terrain à l'Ouest de ce point est plus forte. (Les vents sont presque toujours du secteur Ouest pendant les précipitations.)

Ce résultat tient d'abord au fait que l'erreur de mesure due à l'action du vent est d'autant plus forte que le pluviomètre est plus exposé au vent. Mais il peut aussi provenir de l'influence du vent sur les précipitations réelles : les gouttes de pluie sont d'autant plus déviées de la verticale que la vitesse du vent est plus forte et que l'inclinaison de cette vitesse par rapport à la verticale — comptée positivement vers le haut — est plus grande ; les précipitations réelles doivent donc présenter, de part et d'autre d'une crête, un minimum sur le versant « au vent » et un maximum sur le versant « sous le vent », ces extrêmes étant d'autant plus accusés que la crête est plus vive.

TABLEAU 1.

*Répartition moyenne des pluies*

Station	A	B	F	G	H	I	E	D	K	C
Période					1 9 5 1	1 - 1 9 5 6				
<i>p</i> mm	3962	3621	3798	3812	3669	3861	3315	3023	3880	3455
<i>P</i> mm					3 7 8 7					
<i>r</i> m %	105	96	100	101	97	102	88	80	81	91

Station	L	M	J	Usine
Période	1951-1954	1955-1956	1951-1953	1955-1956
<i>p</i> mm	1962	1301	1114	1338
<i>P</i> mm	2414	1374	1937	1374
<i>r</i> m %	81	94	58	97

## 2. Influence de l'altitude :

A priori, les écarts entre les précipitations mesurées par les différents pluviomètres peuvent aussi être fonction des différences d'altitude dans la mesure où le relief du bassin versant oblige les vents pluvieux à des ascendances suffisantes.

Il n'est pas possible d'étudier cette influence du relief d'après les résultats des pluviomètres du Bassin Expérimental, car les erreurs de mesure dues à l'action du vent sont, d'une part du même ordre de grandeur que les écarts de pluviosité pouvant correspondre normalement aux dénivelés du bassin expérimental, et d'autre part à peu près croissantes avec l'altitude.

La comparaison des précipitations mesurées sur le Bassin expérimental et à l'usine hydroélectrique d'ALRANCE — cette usine est située dans la vallée de l'ALRANCE, dont le fond à peu près plat est dominé à l'Est de plus de 150 m. par la rangée de hauteurs où s'insère le Bassin Expérimental — montre que l'accident du relief constitué par cette rangée de collines n'a qu'un effet à peu près négligeable sur les précipitations : les précipitations mesurées à l'usine (750 m) en 1955 et 1956 sont inférieures en moyenne de 5 % aux précipitations mesurées au point A (775 m.), peut être mieux abrité du vent, et de 3 à 4 % aux précipitations mesurées aux points F (850 m.) G (915 m.) et I (880 m.) au moins aussi exposés au vent. A plus forte raison, *le relief du Bassin Expérimental, moins accusé, n'a pratiquement pas d'influence sur la répartition moyenne des précipitations par les ascendances d'air humide qu'il provoque.*

## 3. Tracé des isohyètes moyennes.

Il suffit donc, pour tracer les isohyètes moyennes des précipitations mesurées, de tenir compte en chaque point de l'exposition aux vents d'Ouest et de la pente du terrain vers l'Ouest. Le tracé de la carte 2 — isohyètes graduées en % de la moyenne *P* — n'a pas la prétention d'être absolument exact, mais il exprime les certitudes suivantes : sur le versant rive droite de la SAIGNERIE, relativement abrité des vents d'Ouest, les précipitations mesurées varient peu ; sur le versant rive gauche, plus exposé, elles ne varient beaucoup qu'au voisinage des crêtes.

La répartition moyenne des précipitations réelles est certainement plus uniforme que celle des précipitations mesurées.

b. *Totaux annuels des précipitations tombées sous forme de pluie.*

Pour un point de mesure déterminé, les 6 valeurs de  $r$  correspondant aux totaux annuels des pluies de 1951 à 1956 (on s'est limité aux pluies des mois de mars à novembre) sont en moyenne égales à la valeur de  $r_m$  calculée au paragraphe a et ne s'en écarte pas de plus de 3 ou 4 %.

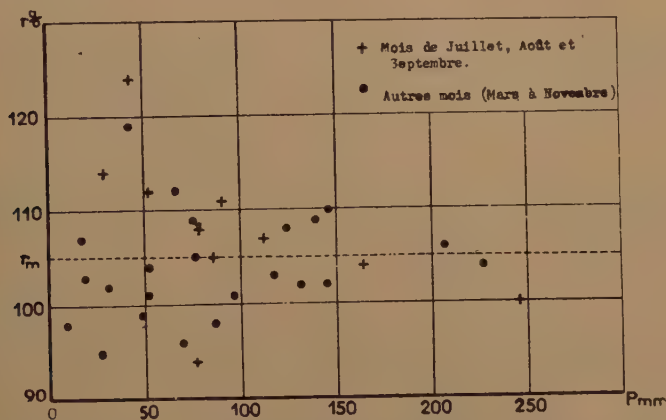
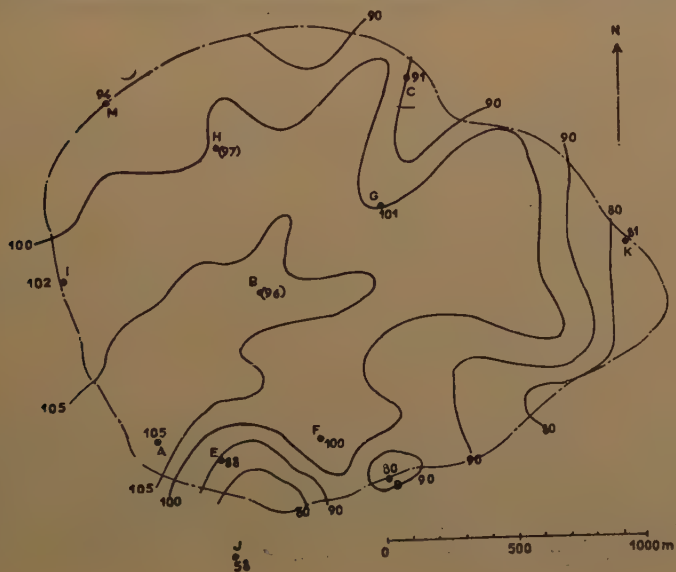


Fig. 1 — Variabilité de la répartition des pluies mensuelles.  
Valeurs mensuelles du rapport  $r$  relatif au point A en fonction des valeurs correspondantes de la moyenne  $P$  des précipitations sur le bassin.

CARTE 2.

*Ischyètes moyennes des précipitations tombant sous forme de pluie.*  
(courbes graduées en % de la moyenne  $P$  des précipitations mesurées en A B F G H I)



### c. Pluies mensuelles.

Pour un point de mesure déterminé, le rapport  $r$  est variable suivant les mois : il est en moyenne égal à  $r_m$ ; son intervalle de variation décroît moins vite que  $\frac{1}{P}$  mais plus vite que  $\frac{1}{\sqrt{P}}$  (fig. 1 et tableau 2)

Pour une valeur donnée de  $p$  l'intervalle de variation de  $r$  est d'autant plus grand que le point de mesure est plus exposé au vent (Tableau 2)

TABLEAU 2  
*Variabilité de la répartition des pluies mensuelles*

Intervalle de variation de  $r$  pour différentes stations et pour différentes valeurs de la moyenne  $P$  des précipitations sur le bassin.

$P_{mm}$	$r \%$		
	B	G	K
20	96 $\pm$ 20	101 $\pm$ 30	81 $\pm$ 50
50	» $\pm$ 10	» $\pm$ 14	» $\pm$ 25
100	» $\pm$ 6	» $\pm$ 8	» $\pm$ 14
200	» $\pm$ 4	» $\pm$ 5	» $\pm$ 8

L'examen des valeurs de  $r$  ne permet pas de distinguer les différents mois : on remarque seulement que les valeurs extrêmes de  $r$  correspondent souvent aux mois de juillet, août et septembre qui comportent une forte proportion de pluies d'orage. (Fig. 1).

### d. Pluies journalières.

L'examen des valeurs journalières de  $r$  permet de mettre en évidence l'influence de différents facteurs sur la répartition des précipitations sur le bassin.

#### 1. Hauteur moyenne des précipitations.

Pour un point de mesure déterminé, le rapport  $r$  est en moyenne égal à  $r_m$ ; son intervalle de variation décroît moins vite que  $\frac{1}{P}$  mais plus vite que  $\frac{1}{\sqrt{P}}$  (Fig. 2) et Tableau 3).

Pour une valeur donnée de  $P$ , l'intervalle de variation de  $r$  est d'autant plus grand que le point de mesure est plus exposé au vent. (Tableau 3).

#### 2. Caractère de la précipitation : Pluie d'orage et Pluie cyclonique ou de front.

Le répartition spatiale des pluies d'orage est moins uniforme que celle des pluies cycloniques ou de front. (Tableau 4.) (Nous avons distingué les pluies d'orages et les pluies cycloniques ou de front d'après les diagrammes du pluviomètre enregistreur situé en G.)

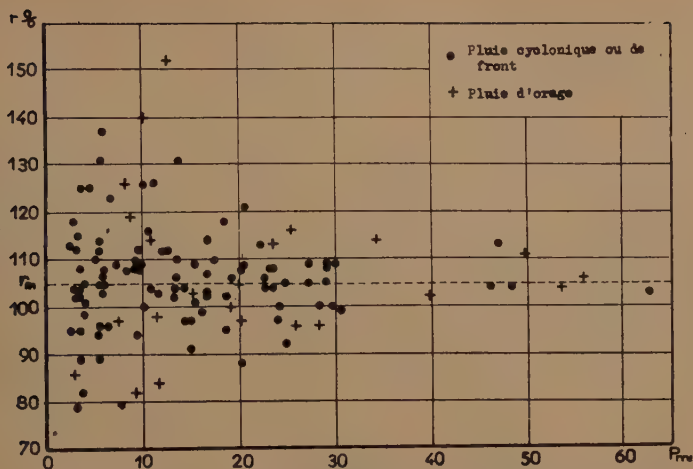


Fig. 2 — Variabilité de la répartition des pluies journalières.  
Valeurs journalières du rapport  $r$  relatif au point A en fonction des valeurs correspondantes de la moyenne  $P$  des précipitations sur le bassin ( $P > 2$  mm)

TABLEAU 3

*Variabilité de la répartition des pluies journalières.*

Intervalles de variation de  $r$  pour différentes stations et pour différentes valeurs de la moyenne  $P$  des précipitations sur le bassin

$P_{mm}$	$r \%$					
	Pluie cyclonique ou de front			Pluie d'orage		
	B	G	K	B	G	K
2	96 ± 40	101 ± 50	81 ± 75	96 ± 40	101 ± 50	81 ± 75
5	» ± 25	» ± 30	» ± 45	96 ± 40	101 ± 50	81 ± 75
10	» ± 17	» ± 20	» ± 30	» ± 25	» ± 30	» ± 45
20	» ± 11	» ± 12	» ± 20	» ± 15	» ± 18	» ± 30
50	» ± 5	» ± 6	» ± 10	» ± 6	» ± 8	» ± 12

### 3. Vitesse du vent.

Les écarts relatifs entre précipitations mesurées sur les crêtes et précipitations mesurées en des points mieux abrités sont d'autant plus grands que la vitesse du vent est plus forte. On le vérifie en considérant par exemple les variations du rapport  $r$  relatif au pluviomètre de crête K en fonction de la vitesse du vent  $V$  pendant la pluie (mesurée en G);  $r$  est très variable pour une valeur donnée de  $V$  ( $\pm 25 \%$ )



autour de la valeur moyenne), mais décroît en moyenne d'environ 95 % pour  $V = 2$  m/sec à 70 % pour  $V = 8$  m/sec.; ainsi pour des vents très faibles la répartition moyenne des pluies sur le bassin est presque uniforme.

#### 4. Direction du vent.

D'après les considérations exposées au paragraphe a.1. ci dessus, la répartition des précipitations sur le Bassin Expérimental doit dépendre, au voisinage des crêtes, de la direction du vent; les précipitations sont presque toujours accompagnées de vent du secteur Ouest et quelquefois de vent du Sud-est (6 fois sur les 123 précipitations journalières dont nous disposons); on vérifie que, dans ce dernier cas, et compte tenu de la valeur de  $P$ , les valeurs de  $r$  sont parmi les plus fortes observées en  $F$  et parmi les plus faibles en  $I$ .

#### NOTA

Les coefficients de corrélation (Tableau 4) ont été calculés sur 41 pluies mensuelles (mois sans neige; 10 à 250 mm), sur les racines carrée de 100 pluies journalières cycloniques du front (2 à 65 mm) et de 23 pluies journalières d'orage (7 à 60 mm); dans le cas de la corrélation entre moyenne  $P$  des précipitations en  $A B F G H I$  et précipitations en un point du bassin, le coefficient est d'autant plus fort que le point est plus abrité du vent; dans le cas de la corrélation entre précipitations mesurées en deux points du bassin, le coefficient dépend à la fois de la distance entre les points et de leur exposition au vent; les coefficients sont plus faibles pour les pluies d'orage que pour les pluies cycloniques ou de front. (A titre de comparaison, on notera que les coefficients de corrélation entre précipitations mensuelles au point  $G$  sur le Bassin Expérimental et aux stations pluviométriques de TREBONS, CASSAGNE ou BOULOC, toutes trois distantes du point  $G$  d'environ 15 Km. sont de l'ordre de 0,90 (Coefficients calculés sur 29 mois d'avril à novembre).

TABLEAU 4  
Coefficients de corrélation

I : entre moyenne  $P$  des précipitations en  $A B F G H I$  et précipitations mesurées en un point du bassin.  
II : entre précipitations mesurées en différents points du bassin.

	Pluies mensuelles	Pluies journalières	
		Pluies cycloniques ou de front	Pluies d'orage
I $A B F G H I$	0,997	0,995	0,97 à 0,98
$E D K L$	0,98 à 0,99	0,945 à 0,975	0,935 à 0,965
$(A, B, F, G, H, I)$	0,990	0,985	0,980
II $(A, E)$	0,990	0,973	0,957
$(A, K)$	0,977	0,942	0,951

## II — NEIGES :

Nous ne disposons que de 23 mesures journalières effectuées pendant les hivers 1950-51 et 1951-52 (par la suite, les totalisateurs utilisés en hiver n'ont plus permis de distinguer les hauteurs d'eau correspondant aux diverses formes de précipitations); les conclusions que nous en tirons sont donc assez approximatives.

### a. Répartition moyenne

La répartition des hauteurs d'eau recueillies par les divers pluviomètres est beaucoup moins uniforme que dans le cas des pluies (Tableau 5). Le vent a beaucoup plus d'action sur les flocons de neige que sur les gouttes de pluie: les mesures pluviométriques sont davantage faussées et la répartition des précipitations réelles est elle-même moins uniforme. De plus, la neige tombée au sol dans les parties les plus hautes du bassin est balayée par le vent, retombe dans la vallée et augmente les résultats des pluviomètres A et B.

TABLEAU 5

*Comparaison des répartitions moyennes des pluies et des neiges sur le Bassin Expérimental*

Station		A	B	F	G	H	I	E	D	K	C
$r_m$ en %	Pluies										
	P = 3787 mm	105	(96)	100	101	(97)	102	88	80	81	97
	Neiges										
	P = 378 mm	117	114	94	79	92	103	69	58	55	70

### b. Précipitations journalières.

TABLEAU 6

Variabilité de la répartition des chutes journalières de neige.

Intervalles de variation des valeurs journalières de  $r$  pour différentes stations et pour différentes valeurs de la moyenne P des précipitations sur le bassin

$P_{mm}$	$r\%$	
	B	K
10	114 $\pm$ 35	55 $\pm$ 50
20	» $\pm$ 20	» $\pm$ 40
50	» $\pm$ 15	» $\pm$ 25

## III — PRÉCIPITATIONS ANNUELLES (Pluies et Neiges)

La répartition moyenne des précipitations sur le bassin est très différente suivant qu'elles tombent sous forme de pluie ou de neige; la répartition des précipitations

annuelles dépend donc beaucoup de la proportion de neiges et de pluies tombées dans l'année, et cette proportion est très variable : le coefficient de niviosité a varié de 6 à 30 % pendant les années 1951 à 1956.

TABLEAU 7  
*Limite de variation de la répartition des précipitations annuelles*

Station		A	B	F	G	H	I	E	D	K	C
r %	Coeff. niv. nul	105	96	100	101	97	102	88	80	81	97
	Coeff. niv. 30 %	109	102	98	94	96	103	83	72-73	89	

#### D. PRECISION DE LA MESURE DE LA MOYENNE DES PRECIPITATIONS SUR LE BASSIN VERSANT

L'erreur relative  $\epsilon$  que l'on commet en représentant la moyenne des précipitations sur le bassin par la hauteur des précipitations mesurée en un point (ou par la moyenne des hauteurs mesurées en deux ou plusieurs points) est variable avec tous les facteurs dont dépend la répartition des précipitations sur le bassin : forme de la précipitation (pluie, neige), quantité de précipitation, caractère de la précipitation (pluie cyclonique ou de front, pluie d'orage), vitesse et direction du vent, durée de la période sur laquelle s'étend la mesure (jour, mois, année, groupe d'années), etc...

Nous considérerons  $\epsilon$  comme la somme :

- d'une valeur moyenne fixe  $\epsilon_m$  dépendant seulement du ou des points de mesure choisis et de la forme de la précipitation (pluie ou neige) : les effets des variations de la vitesse et de la direction du vent tendent à s'annuler sur une longue période,
- d'écart  $\delta\epsilon$  à cette moyenne, dont nous étudierons la limite supérieure  $\delta\epsilon_{\max}$ , variable avec le ou les points de mesure choisis et avec tous les facteurs énumérés ci-dessus.

Nous ne connaissons pas la vraie valeur de la moyenne des précipitations réelles sur le bassin Expérimental : pour des raisons que nous n'avons pas la place d'exposer

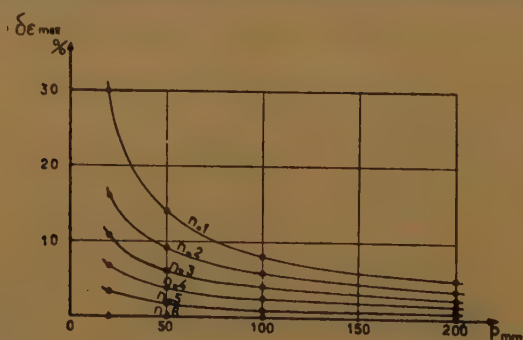


Fig. 3 — Précision des mesures mensuelles.  
Variations de  $\delta\epsilon_{\max}$  en fonction de la moyenne  $P$  des précipitations sur le bassin et du nombre  $n$  de pluviomètres utilisés (mois ne comportant que des pluies).

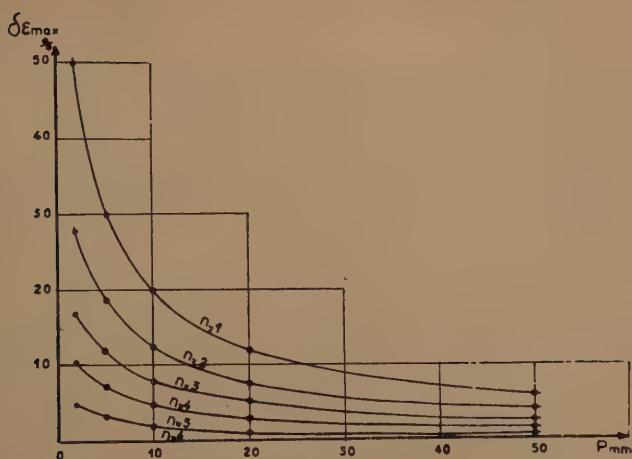


Fig. 4 — Précision des mesures journalières.

Variations de  $\delta \varepsilon_{\max}$  en fonction de la moyenne  $P$  des précipitations sur le bassin et du nombre  $n$  de pluviomètres utilisés (Pluies cycloniques ou de front)

TABEAU 9

Précision de la mesure de la moyenne des précipitations sur le Bassin Expérimental (pluviomètre G.)

	$P_{mm}$	$\varepsilon_m + \delta \varepsilon_{\max}$ en %		
		Pluie cyclonique ou de front	Pluie d'orage	Neige
Précipitations journalières	2	$1 \pm 50$		
	5	$1 \pm 30$	$1 \pm 50$	
	10	$1 \pm 20$	$1 \pm 30$	$21 \pm 45$
	20	$1 \pm 12$	$1 \pm 18$	$21 \pm 30$
	50	$1 \pm 6$	$1 \pm 8$	$21 \pm 20$
Précipitations mensuelles	20	$1 \pm 30$		
	50	$1 \pm 14$		$21 \pm (35)^*$
	100	$1 \pm 8$		$21 \pm (25)$
	200	$1 \pm 5$		$21 \pm (20)$
Précipitations annuelles		Année sans neige coeff. de nivosté nul	Année à fort coefficient de nivosté coeff. de nivosté 30 %	
	$\sim 1200$	$1 \pm 3$	$6 \pm (7)$	

(\*) Entre parenthèses : valeurs approximatives.

ici, nous admettrons qu'avec les moyens de mesure dont nous disposons, la meilleure estimation de cette moyenne est la moyenne P des précipitations mesurées en A B F G H I.

Dans cette hypothèse,  $\epsilon_m = r_m - 100$  et n'est particulièrement fort que pour les pluviomètres les plus exposés au vent (en K, par exemple,  $\epsilon_m$  atteint 21 % pour les pluies et 45 % pour les neiges).

Pour un ou plusieurs points de mesure déterminés, et dans le cas des précipitations journalières,  $\delta\epsilon$  max. est d'autant plus faible que la précipitation est plus abondante, nettement plus fort pour les neiges que pour les pluies, plus fort pour les pluies d'orage que pour les pluies cycloniques ou de front (Tableaux 3 et 9, Fig. 1); dans le cas des précipitations mensuelles (Tableaux 3 et 9, Fig. 3), il est certainement beaucoup plus fort pour les mois qui comportent de la neige, et légèrement plus fort pour les mois d'été à forte proportion d'orages; dans le cas des précipitations annuelles, il est de l'ordre de 3 % pour une année qui ne comporte que de la pluie, mais certainement plus fort pour les années à fort coefficient de niviosité.

Toutes choses égales par ailleurs,  $\delta\epsilon$  max. est d'autant plus fort que le point de mesure est plus exposé au vent. L'augmentation du nombre de points de mesure a un effet variable sur  $\delta\epsilon$  max.; la prise en compte d'un nouveau pluviomètre ne diminue le  $\delta\epsilon$  max. global que si le  $\delta\epsilon$  max. correspondant à ce pluviomètre n'est pas lui-même trop fort; dans le cas des pluviomètres A B F G H I qui, pris séparément, sont caractérisés par des  $\delta\epsilon$  max du même ordre de grandeur, l'augmentation du nombre des pluviomètres diminue le  $\delta\epsilon$  max global.

#### E. CHOIX DES EMPLACEMENTS ET DU NOMBRE DES PLUVIOMETRES.

Sur un bassin versant quelconque, le choix des emplacements des pluviomètres dépend :

- du nombre de pluviomètres que l'on accepte d'installer : ce nombre est lié au degré de précision que l'on veut atteindre,

- du genre de mesures auxquelles ils sont destinés (pluie ou neige, précipitations journalières, mensuelles, annuelles, etc.)

- des connaissances que l'on a sur la répartition des précipitations sur le bassin

Sur un bassin versant quelconque,  $\epsilon_m$  ne varie pas forcément d'un point de mesure à l'autre dans le même sens que  $\delta\epsilon$  max. : la hauteur des précipitations mesurée en un point peut être très bien corrélée avec la moyenne des précipitations sur le bassin ( $\delta\epsilon$  max. faible) tout en étant systématiquement différente de cette moyenne ( $\epsilon_m$  fort); ainsi, si l'on veut représenter les précipitations sur un bassin versant par un seul pluviomètre, on choisira, pour la mesure du total des précipitations sur une longue période, un pluviomètre de faible  $\epsilon_m$ ; pour la mesure des précipitations sur des périodes plus courtes, un pluviomètre de faible  $\delta\epsilon$  max devient en général plus avantageux, surtout si l'on connaît  $\epsilon_m$  avec assez de précision d'après des mesures antérieures; un pluviomètre de faible  $\delta\epsilon$  max. est également préférable si l'on veut repérer les variations des précipitations sans en connaître la valeur absolue.

Sur le Bassin Expérimental,  $\epsilon_m$  et  $\delta\epsilon$  max. sont plus forts pour les pluviomètres les plus exposés au vent ou situés sur de fortes pentes (E D K C M); si l'on avait à choisir l'emplacement d'un pluviomètre représentatif du bassin, on éviterait donc les crêtes et les terrains de forte pente. (Notez que les pluviomètres très bien abrités B et H présentent l'inconvénient d'être systématiquement faussés par l'interception, mais l'avantage de  $\delta\epsilon$  max très faibles).

L'avantage que l'on a à augmenter le nombre des pluviomètres peut être contrebalancé par l'inconvénient qu'il y a à introduire des pluviomètres particulièrement faussés ou mal corrélés avec la moyenne des précipitations sur le bassin. Si



l'on dispose de mesures antérieures, on peut déterminer par le calcul l'intérêt de la prise en compte d'un pluviomètre déterminé pour un certain type de mesures. Sinon on utilisera les connaissances que l'on peut avoir a priori sur la répartition des précipitations sur ce bassin; les conclusions obtenues dans le cas du Bassin Expérimental d'ALRANCE restent valables pour un terrain analogue du point de vue du relief et du régime des vents : on a intérêt à multiplier les pluviomètres répartis sur tout le bassin, tout en évitant de les placer sur les crêtes ou sur les terrains de forte pente; les points de mesure très bien abrités sont particulièrement intéressants, mais on devra se méfier des erreurs dues à l'interception.

## CONCLUSION

L'étude des mesures pluviométriques effectuées sur le Bassin Expérimental d'ALRANCE montre que, même en pays vallonné, la répartition des précipitations sur un bassin versant de faible superficie est loin d'être uniforme, et qu'elle est de plus très variable.

Les ascendances d'air humide provoquées par les accidents locaux du relief peuvent n'entraîner qu'un accroissement négligeable des précipitations : la répartition moyenne est avant tout liée à l'action du vent.

La comparaison des précipitations mesurées à 150 et à 20 cm. au-dessus du niveau du sol montre par ailleurs l'importance des erreurs que l'action du vent introduit dans la mesure des précipitations en un point.

Ainsi, même en pays vallonné, on peut commettre de grosses erreurs dans la mesure des précipitations sur un bassin versant et les emplacements des pluviomètres doivent être choisis avec soin : les règles à suivre sont les mêmes qu'en montagne : on doit éviter les crêtes et les terrains de forte pente exposés au vent.

Enfin, les difficultés que nous avons éprouvées pour tirer des résultats des mesures des conclusions relatives aux précipitations réelles montrent l'intérêt qu'il y aurait à préciser quantitativement l'influence du vent sur les mesures pluviométriques par des essais en soufflerie ou des comparaisons entre les résultats de pluviomètres du type normal, pluviomètres au niveau du sol et pluviomètres « aérodynamiquement neutres ».

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) HANS BURGER — Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. II. Mitteilung. Der Wasserhaushalt in Sperbel- und Rappengraben von 1915/16 bis 1926/29. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen* XVIII Band. 2. Heft. Zürich 1934.
- (2) E. HOECK — Sur les mesures pluviométriques dans le bassin de la Baye de Montreux. A. I. H. S. Congrès d'Oslo. 1948. Tome I. pp. 180-190.
- (3) CROFT et MARSTON — Summer rainfall characteristics in northern Utah. *TAGU*. Vol. 31. N° 1. Février 1950. pp. 83-95.
- (4) BURNS — Small-Scale topographic effects on precipitation distribution in San Dimas experimental forest. *TAGU*. Oct. 1953. pp. 761-767.
- (5) KASSER — La répartition des précipitations des deux côtes d'une crête. A. I. H. S. — Rome 1954. Tome I pp. 287-294.
- (6) G. MEDINGER — Difficultés de la mesure des précipitations en montagne. S. H. F. Pluie, évaporation, filtration et écoulement. Compte-rendu des III<sup>e</sup> Journées de l'Hydraulique — pp. 47-50 — Alger, avril 1954.
- (7) BOCK — Sur une méthode de mesures des précipitations en haute montagne. *Oesterreichische Wasserwirtschaft* — Mai-Juin 1951. 5/6 pp. 103-107.
- (8) HAMILTON — Rainfall sampling on rugged terrain. U. S. Dept. Agric. *Technical Bulletin*. N° 1096 (1954).

- (<sup>9</sup>) INSTITUTE OF WATER ENGINEERS. JOINT COMMITTEE. The determination of the general rainfall over any area. pp. 1-26 and 257-276 Publ. by the Inst. Westminster — 1937.
- (<sup>10</sup>) SMALLSHAW — Some precipitation-altitude studies of the Tennessee Valley Authority, *TAGU*. Août 1953. pp. 583-588.
- (<sup>11</sup>) BLEASDALE — The assessment of rainfall and evaporation. *Journal of the Association of Water Engineers* Vol. 9. N° 6. Octobre 1955. pp. 491-503.
- (<sup>12</sup>) BOVA — Précipitations sur les rives hautes des rivières. *Izvest. vesaj. geogr. Obshch. SSSR* (1950) 82. N° 1. pp. 92-4.
- (<sup>13</sup>) LINSLEY et KOHLER — Variations in storm rainfall over small areas. *TAGU*. Vol. 32. N° 2. Avril 1951. pp. 245-250. Discussion : *TAGU*. Vol. 32. N° 6 Dec. 1951. pp. 932-933.
- (<sup>14</sup>) SANDERSON et JOHNSTONE — Accuracy of determination of annual precipitation over a given area. *TAGU*. Vol. 34 N° 1. Février 1953. pp. 49-57.
- (<sup>15</sup>) LANGBEIN — Error in the computation of mean areal precipitation. U. S. Geological Survey — Water Resources Branch. 10 Août 1946.

# ZUR HÖHENABHÄNGIGKEIT VON REGEN- UND NEBELNIEDERSCHLAG AM GROSSEN FALKENSTEIN (BAYER. WALD)

ALBERT BAUMGARTNER MÜNCHEN

## SUMMARY

(Vertical Distribution of Rain- and Fogprecipitation at the Großer Falkenstein,  $H = 1312$  m,  $\varphi = 49^{\circ} 05'$ ,  $\lambda = 13^{\circ} 17'$ ). Between the altitudes 612 and 1312 m a stretch was established 6 km long from the valley over the mountain to the opposite valley, with rain gauges and Grunow fog-gauges at 23 places. The function of height, the hydrological meaning of the fog-precipitation and the relations to the mountain forest are discussed.

## VORBEMERKUNG

Die Forstwirtschaft strebt in zunehmendem Maße an, daß die Forsteinrichtung durch eingehende Aufnahme der natürlichen Eigenschaften der Waldstandorte auf eine vor Rückschlägen sichere Basis gestellt wird, die zu optimaler Ausnutzung der naturgesetzlichen Grundlagen für die Holzerzeugung führt. Aus diesem Grunde fallen der Forstmeteorologie nunmehr in der « klimatologischen Standortserkundung » neue Aufgaben zu. Zunächst geht es hierbei um die Entwicklung der Methoden. Im Rahmen solcher Arbeiten hat das Forstmeteorologische Institut München unter der Leitung von Prof. Dr. R. Geiger in den Jahren 1953-56 am Großen Falkenstein ( $\varphi = 49^{\circ} 05'$ ,  $\lambda = 13^{\circ} 17'$ ) im Bayerischen Wald eine Klimameßstrecke eingerichtet und betreut (<sup>1, 3</sup>) sowie Kartierungen phänologischer Erscheinungen (<sup>2</sup>) und der Schneedecke (<sup>4</sup>) vorgenommen. Über einige Ergebnisse der Niederschlagsbeobachtungen, die von allgemeinem Interesse sind, wird nachstehend berichtet.

## A. GELÄNDE, MEßSTRECKE, GERÄT UND VERFAHREN

Der Gebirgsstock des Gr. Falkensteins streicht in der NNW-SSE-Richtung. Im nördlichen Teil des Bergrückens befinden sich Verebnungsflächen. Der Gipfel (1312 m) liegt an seiner Südflanke. Von dort fällt der Berg mit einem schmalen Kamm zum Tal ab. Die oberen Hänge (« Blockhalden ») erreichen Neigungen bis zu 65 %. Die unteren Hänge laufen mit « Fließerden » (nach G. Priehäuser) talwärts sanft aus. Der Berg ist vollständig bewaldet. Es überwiegen die Fichten im Baumholzalter.

Die Niederschlagsmeßstrecke umfaßte 23 Meßstellen, die 1954 bei einer horizontalen Länge von 6 km am West- und Südosthang und 1955 bei einer horizontalen Länge von 3 km am Westhang zwischen den Höhen 617 und 1312 m verteilt waren. Bei 15 Meßstellen waren je 2 Normalregennmesser mit 200 cm<sup>2</sup> horizontaler Auffangfläche in 1 m Höhe über dem Boden aufgestellt. Davon war je 1 Gerät mit einem Nebelfänger nach Grunow (<sup>5, 7</sup>) versehen.

Am Westhang lagen die Meßplätze einheitlich innerhalb einer 10 — 15 m breiten und von Baumwuchs freigehaltenen Schneise, die sich in gerader Linie vom Tal zum Berggipfel hinzog. Am Osthang waren die Regennmesser in Waldlichtungen aufgestellt. Auf ähnliche Horizonteinengung (freier Himmel) der Meßstellen wurde

geachtet. Sie ist mit dem Horizontoskop nach F. Tonne (\*) bestimmt worden und zusammen mit der jeweiligen Hangneigung in Tab. 1 angegeben. Die Zeitpunkte der Beobachtungsgänge richteten sich nach dem Wetter.

## B. ERGEBNISSE DER NIEDERSCHLAGSMESSUNGEN

Die Gesamtsumme der am Westhang in den Normalregennessern und in den Nebelfängergeräten aufgefangenen Niederschlagsmengen geht aus Tab. 1 hervor.

Tab. 1: Normalniederschlag (R) und Niederschlag im Nebelfängergerät (NF) in den Vegetationszeiten 1954 und 1955

(Summen für 13.5.-13.11.1954 und 18.4.-13.11.1955)

Westhang											
Meßstelle Nr	1*)	2	3	4	5	6	7	9	11	14	
Höhe (NN)	1288	1312	1242	1157	1062	1008	925	796	685	622	m
horiz. Entfernung	410	105	150	140	130	190	505	850	1040		m
Hangneigung	6	-67	-57	-68	-42	-45	-25	-14	-6		%
freier Himmel	19	81	32	30	25	27	24	32	42	77	%
R	1400	1363	1298	1278	1328	1343	1365	1389	1327	1327	mm
NF	1586	1950	1555	1429	1368	1317	1292	1202	1200	1169	mm
R/R	104	102	97	95	99	100	102	104	99	99	
R'	120	122	117	112	106	103	96	88	80	74	%
NF/NF	113	138	110	102	97	93	92	85	85	83	%
NF/R	114	143	120	113	103	98	95	86	91	88	%

\*) lag auf der Verebnungsfläche in Kammlage

R = Mittel von R = 1342 mm, NF = Mittel von NF = 1407 mm

R' = Mittlere Niederschlagsverteilung, ausgehend von den Mittelwerten (1891-1930) der Klimakunde des deutschen Reiches für das Gebiet des Bayer. Waldes, Mai-Oktober, für die Bezirke 708-714 u. 719-722.

Die Niederschlagsverhältnisse von West- und Südosthang lassen sich anhand der Messungen des Jahres 1954 vergleichen (Tab. 2).

Tab. 2: Vergleich von West- und Südosthang  
(Summen 13.5.-13.11.54)

Westhang						
Meßstelle Nr.	2	3	7	9	14	Mittel
Höhe	1312	1242	925	796	622	m
R	690	668	704	749	706	707 mm
NF	906	815	670	634	634	614 »
NF/R	121	122	95	85	90	87 %

Südosthang						
Meßstelle Nr.	2	18	20	21	22	
Höhe	1312	1220	933	839	645	m
horiz. Entfernung	420	970	820	1570		m
R		646	762	737	671	704 mm
NF		703	736	708	597	686 mm
NF/R		109	97	96	89	97 %

## 1. Zum Normalniederschlag (R)

In der Meßstrecke des Westhanges ergab sich die größte Niederschlagssumme bei dem in einer Waldlichtung auf einer verebneten Kammlage stehenden Regemesser Nr. 1. Das ohne Windschutz exponierte Gerät auf der fast baumfreien Gipfelkuppe (81 % freier Horizont) erhielt gegenüber dem Durchschnitt der Meßstrecke R nur 2 % mehr Regen. In der Berglage unter dem Gipfel nahm R auf 95 % des Durchschnittes ab, aber in mittlerer Hanglage wieder auf 104 % zu. Die stärkste Zunahme erfolgte beim Hangknick, etwa in der Zone um 925 m. Die kleinste Niederschlagsmenge wurde an den Meßstellen des oberen Hanges gemessen.

Zur Erklärung dieser vertikalen Verteilung der Niederschlagsmengen, die der global in den Niederschlagskarten angewandten mittleren Höhenzunahme (vgl. R') des Niederschlages widerspricht, sind sowohl die Effekte der verwendeten Meßmethode, als auch die Einflüsse des Strömungsfeldes am Hang heranzuziehen.

### a) Einfluss der Messmethode

Die horizontale Lage der Auffangfläche führte in Abhängigkeit von der Hangneigung und vom Einfallswinkel des Regens zu einem falschen Flächenverhältnis zwischen Auffangfläche und überdeckter Geländefläche, worauf insbesondere J. Grunow <sup>(6)</sup> hinwies, der die Einführung hangparalleler Auffangflächen befürwortet hat. Auch der Wald fängt durch seine stufenweis aufgebaute Krone an seiner Oberfläche den Regen nicht horizontal ab. Der Fehler, der mit horizontaler Auffangfläche durchgeführten Messung des abgesetzten Regens, wächst mit dem Einfallswinkel des Regens und der Hangneigung. Die zu niedrigen Niederschlagsmengen der oberen Hangteile sind somit teilweise darauf zurückzuführen.

Die mit der Ortshöhe zunehmende Windgeschwindigkeit bewirkte unmittelbar an den Regenmessern einen mit der Höhe wachsenden Windeinfluß auf die Messung. Er mußte ebenfalls zur Folge haben, daß trotz homogener Umgebung der Meßstellen das Meßergebnis gipfelwärts zu gering ausfiel. Eine Ausschaltung dieses höhenabhängigen Meßfehlers ließe sich nur durch einen je Meßstelle individuellen Windschutz an den Geräten erreichen.

Ein weiterer Einfluß des Windes auf das Meßergebnis besteht in der Änderung des Schubes auf die fallenden Niederschlagsteilchen im bodennahen Windfeld, vor allem bei kleinen Tropfen, starkem Wind und großer Bodenrauigkeit. In der relativ zu den Baumhöhen (25 — 40 m) schmalen Waldschneise war die Windgeschwindigkeit, mit Ausnahme der schneisenparallelen WSW-Winde, stark herabgesetzt, so daß die Einfallswinkel der Regen verhältnismäßig klein und damit auch die Verfälschung von dieser Seite her gering gewesen sein mußte.

### b) Einfluss des Strömungsfeldes am Berg

Der Berg verändert die Richtung der Strömung, die horizontale und die vertikale Windgeschwindigkeit und damit auch das Niederschlagsangebot.

Die Ablenkung der Zugrichtung von Niederschlagsfeldern, z.B. Gewitterzellen oder Schauer, durch das Gelände führt zur Bevorzugung bzw. zur Benachteiligung gewisser Geländeteile. Zu den bevorzugten scheinen die im Süden zu Tal steigenden Kämme und der Mittelhang zu gehören. Über die Unterschiede im Gipfelbereich unterrichtet Tab. 3. Die drei verglichenen Meßstellen 1, F u. 2 können, ihrer Lage nach, jede für sich als Gipfelstation betrachtet werden. Nr. 1 ist die Waldstation auf der Kamm-Verebnungsfläche, Nr. F ist die Wetterdienststation Gr. Falkenstein in einer leichten Mulde hinter dem Kamm sowie im Windschatten durch Wald und Nr. 2 ist die windexponierte Meßstelle auf der Gipfelkuppe. Die Stationen Nr.1 und F.



Tab. 3: Niederschlagsmengen in Gipfel- und Kammlage

Station	Höhe	1954					1955				
		I	J	A	S	O	I	J	A	S	O
Nr. 1	1288 m	57	276	106	88	129	153	212	75	89	44
F	1307 m	79	280	112	126	112	167	235	86	97	43
Nr. 2	1312 m	52	252	105	86	106	145	233	75	85	40

sind nur ca 100 m voneinander entfernt und weisen Niederschlagsmengen auf, die mehr als 10 % auseinanderliegen.

Beim erzwungenen Um- und Überströmen des Bergmassivs wächst die vertikale Windgeschwindigkeit vor allem unter den Kammlagen stark an. Der fallende Niederschlag wird dadurch in Richtung zum Kamm versetzt und den oberen luvseitigen Hanglagen entzogen. Eine Mehrung des Niederschlages auf den Leehängen (E — SE) war jedoch, wie man aus Tab. 2 entnehmen kann, im Durchschnitt und zumindest in Gipfelnähe nicht festzustellen. Die in rund 1 km leeseitig vom Gipfel entfernte Meßstelle 20 weist jedoch, im Vergleich mit Station 7 des luvseitigen Westhanges, auf eine solche Kompensation hin. Die Erscheinung der Niederschlagsverfrachtung in Gipfelnähe entkräftet in gewissem Umfange den Einwand der unsachgemäßen Meßweise durch horizontale Auffangfläche, da die Wirkungen im Sinne der beobachteten Niederschlagsverteilung liegen.

## 2. Zum Nebelniederschlag (NF)

Die Niederschlagsmengen in den mit Nebelfängern versehenen Regennessern nahmen mit der Höhe bis knapp unter dem Gipfel stetig zu und wiesen mit einem Überschuß von 38 % gegenüber dem Mittel der Meßstrecke NF auf der Gipfelkuppe ein Maximum auf. Die auf die Niederschlagseinheit normierte Reihe (NF/R) zeigte ein ähnliches Ergebnis. In den Höhenlagen über 1050 m war die NF-Menge größer als die jeweilige R-Menge, aber unter 1050 war sie bis zu 17 % kleiner als R.

Während Tab. 3 belegen konnte, daß im Bereich des Berggipfels die verschiedene Lage und Umgebung der Meßstellen noch zu tragbaren Unterschieden der Meßwerte des Normalniederschlages geführt haben, sind hingegen die NF-Werte im Gipfelbereich viel stärker differenziert (Tab. 4). Die vom Nebelfänger bewirkte Erhöhung (Zuschlag %)

Tab. 4: Nebelfänger-Inhalt (NF) im Bereich des Berggipfels

Nr. 1	Monat	1954					1955				
		J	J	A	S	O	J	J	A	S	O
Meßstelle		58	307	110	95	150	178	240	79	100	51
Zuschlag (%)		2	11	4	8	16	16	13	5	12	16
Nr. 2		44	300	106	117	236	223	318	105	133	105
Zuschlag (%)		-15	18	1	36	122	47	35	40	56	163

des aufgefangenen Niederschlages war zeitlich und örtlich sehr verschieden. Eingehende Beobachtungen zu Zeiten mit und ohne Regen, bei denen der Bergwald von den Wolken eingehüllt war, haben gezeigt, daß das Auskämmen der Wolkentröpfchen im Bereich der Kammlage an den einzelnen Ortslagen, je nach dem Strömungsfeld, dem Bestandsaufbau usw., außerordentlich individuell erfolgte. Der ergiebige Absatz von Nebelniederschlag beschränkte sich auf das flächenmäßig schmale Gebiet im Gipfelbereich.

Am Osthang wurde relativ zu R von den Nebelfängern mehr Niederschlag aufgefangen als am Westhang. Jedoch war der Zuschlag (vgl. Tab. 2) bei Station 3 in Kammnähe des Westhanges um 13 % größer als der an der Station 18 in vergleichbarer Höhe auf dem Osthang.

Die Zunahme der NF-Werte mit der Höhe beruht nicht allein auf der größeren Nebelergiebigkeit der Hochlage. Das NF-Profil ist stark verfälscht durch die Meßweise des Nebelniederschlags. Das zylindrische Drahtgitter fängt nicht nur die Nebel- und Wolkentröpfchen, sondern auch zusätzlich Normalniederschlag R auf und verliert durch Verdunstung einen Teil des abgelagerten Regen- und Nebelniederschlagswassers.

a) Die Vergleichsmessungen von R und NF an nebelfreien Niederschlagstagen zeigten, daß der Nebelfänger die Auffangfläche des Regenmessers vergrößert und durch die Mehrung des aufgefangenen Regens in den Tagen mit Nebel und Regen eine hohe NF-Menge vortäuscht. Der Fehler wächst mit der Windgeschwindigkeit. Die positiven Zuschläge der Höhenzone über 1050 m, insbesondere der Gipfelstation 2, sind daher beträchtlich zu reduzieren. Auch die Auswahl von Tagen mit Nebeln und Regen führt also zu Trugschlüssen. Eine Trennung in Tage mit Regen und Nebel sowie Tage mit Nebel ohne Regen ist erforderlich. Im übrigen sollte auch der Nebelfänger-Regenmesser bei den Messungen an Hängen mit schräger Auffangfläche versehen sein.

b) Die Verdunstung des aufgefangenen Wassers am Nebelfängernetz führte in den Lagen unter 1050 m dazu, daß  $NF < R$  war. Die Verluste sind abhängig von der Niederschlagsdichte, vom Wetter nach dem Regen, von der Jahreszeit und, vor allem wegen der Windgeschwindigkeit, auch von der Höhenlage. Um die Verdunstungsverluste sind die NF-Werte zu erhöhen. Damit ist die Untergrenze der Zone mit positivem Nebelzuschlag etwa in der Höhenlage um 900 m anzunehmen.

Innerhalb der Vegetationszeit ist der Nebelniederschlag für den Bergwald von geringer Bedeutung, da in den Hochlagen das notwendige Wasser für das Pflanzenleben meist im Überschuß vorhanden ist. Auch die hydrologische Bedeutung sollte man, wegen der räumlichen Beschränkung ergiebiger Nebelablagerungen, nicht überschätzen.

Zu danken haben wir für Förderung der Arbeiten dem Leiter des Forstamtes Zwiesel-Ost, Herrn Oberforstmeister K. Klotz, und für die gewissenhafte Ausführung der Beobachtungen den Herren Forstmeister Georg Waldman, Forstassessor Gerhard Kleinlein, Max Müller aus Kreuzstraß und Rudolf Aschenbrenner aus Spiegelhütte bei Zwiesel.

## LITERATUR

- (1) BAUMGARTNER, A.: Temperatur- und Niederschlagsverteilung im Bergwald. Vortrag Intern. Kongr. f. alpine Meteor., Chamonix 1956, *La Météorologie*, IV, 45-46, 251-256 (1957).
- (2) BAUMGARTNER, A., G. KLEINLEIN u. G. WALDMANN: Forstlich-Phänologische Experimente am Gr. Falkenstein (Bayer. Wald). *Forstwiss. Centralbl.* 75, 290-303. (1956).
- (3) BAUMGARTNER, A. u. G. HOFMANN: Elektrische Fernmessung der Luft- und Bodentemperatur in einem Bergwald. *Archiv f. Meteor., Geophys. u. Bioklim.* Serie B, 8, 215-230 (1957).
- (4) BAUMGARTNER, A. u. G. WALDMANN: Regen, Nebelniederschlag, Bodenfrost- und Schneeverteilung am Gr. Falkenstein. *Forstwiss. Centralbl.*, in Vorbereitung.
- (5) GRUNOW, J. Nebelniederschlag, Bedeutung und Erfassung einer Zusatzkomponente des Niederschlags. *Ber. Dt. Wetterd. US-Zone*, Nr. 42, S. 30, Bad Kissingen 1952.

- (6) GRUNOW, J. : Die Niederschlagsmessung mit hangparallelen Auffangflächen. Methode, Erfahrungen, Folgerungen. UGGI Ass. Int. Hydr. Sci., Assemblée Gén. Rome 1954.
- (7) GRUNOW, J. : Der Niederschlag im Bergwald. Niederschlagszurückhaltung und Nebelzuschlag. *Forstwiss. Centralbl.* 74, 22-36 (1955).
- (8) TONNE, F. : Besonnung und Tageslicht — ein neues Untersuchungsverfahren. *Gesundheits Ingenieur* 72 (1951).

# POSSIBILITÉS D'AMÉLIORATION DES MESURES DE PRÉCIPITATIONS

LOUIS SERRA

(France)

## RÉSUMÉ

Un pluviomètre placé dans la nature, c'est-à-dire dans le vent naturel, constitue un obstacle qui défléchit les filets d'air.

Au cours d'essais faits en soufflerie, on a cherché à tracer le champ des vitesses autour du pluviomètre. Il existe au-dessus de l'appareil une zone de survitesses qui tend à incurver le bas des trajectoires des gouttes et pousser hors de la surface réceptrice une partie de celles qui auraient dû normalement y pénétrer.

Les mesures de précipitations sont donc erronées par défaut.

On peut, pour y remédier : soit chercher à déterminer le coefficient d'erreur dû aux survitesses (mais c'est difficile, en général, car on ne mesure pas le vent), soit éliminer cette zone de survitesses par l'usage de dispositifs appropriés et en particulier de collerettes en grillage métallique.

Des essais systématiques ont été exécutés en soufflerie.

La présente étude en donne les résultats, ainsi que quelques considérations sur la qualité des mesures pluviométriques courantes.

Un pluviomètre placé dans un vent soufflant horizontalement constitue un obstacle qui défléchit les filets d'air.

Les gouttes de pluie pénétrant dans un champ de vitesses ainsi perturbé suivent des trajectoires un peu différentes de celles que l'on aurait observé en l'absence du pluviomètre. Il existe donc un certain écart entre la quantité de pluie effectivement recueillie et ce que l'on pourrait appeler la quantité de pluie « réelle » (précipitation tombant sur une surface horizontale dans un champ de vitesses uniforme).

Nous nous proposons dans cette étude :

- 1 — d'évaluer le sens et l'ordre de grandeur de cet écart,
- 2 — de rechercher les moyens de l'annuler ou tout au moins de l'atténuer pour rendre les mesures plus exactes.

## I — ETUDE DU CHAMP AÉRODYNAMIQUE AUTOUR D'UN PLUVIOMÈTRE NU.

Cette étude, effectuée en soufflerie, a permis en premier lieu de préciser qualitativement et quantitativement la nature des perturbations introduites dans l'écoulement des filets d'air par le pluviomètre lui-même.

### 1. Le dispositif expérimental

a) Le pluviomètre, du type courant (diamètre 230 mm.), était fixé au centre de la veine d'une soufflerie et le champ des vitesses exploré point par point au moyen d'une sonde Pitot à trois branches (fig. 1)

*Description sommaire :* Deux branches inclinées à  $45^\circ$  sur l'axe de la sonde sont reliées à un manomètre différentiel. En tournant la sonde de façon à faire coïncider l'axe de l'appareil avec la direction du vent, on obtient une même surpression dans les deux prises inclinées, donc une lecture 0 au manomètre différentiel. L'orientation de la sonde c'est-à-dire l'angle  $\alpha$  que fait avec l'horizontale le vecteur vent est repérée

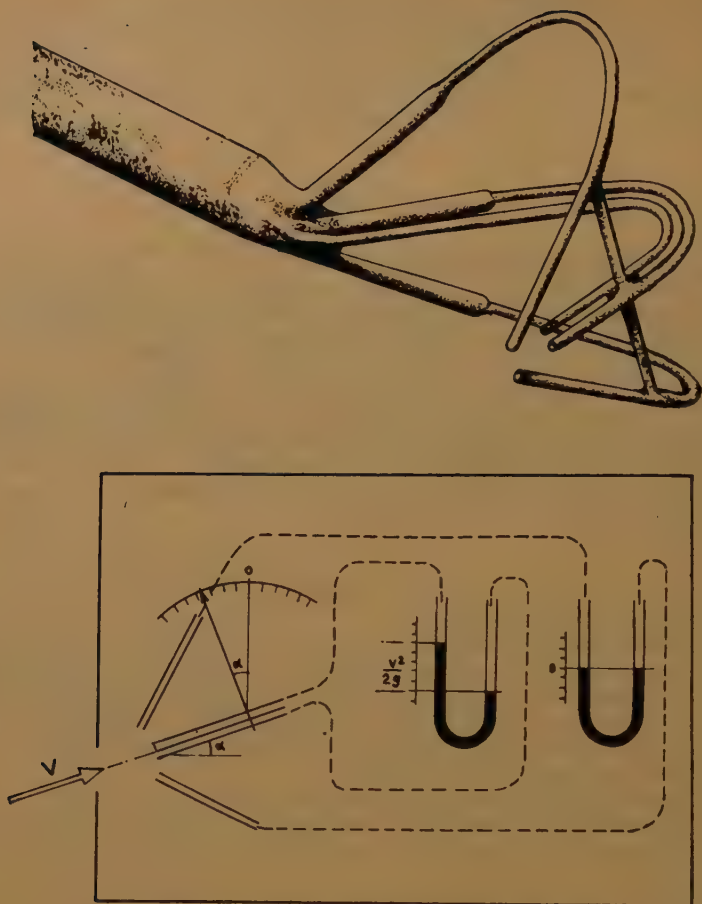


Fig. 1 — Sonde PITOT à trois branches

sur un cadran. Le pitot central, double, également relié à un manomètre différentiel, permet de mesurer  $V^2/2g$  d'où l'on déduit l'intensité  $V$  de la vitesse.

b) La sonde, maintenue par un dispositif à crémaillère, pouvait être déplacée dans tout l'espace entourant le pluviomètre, l'extrémité des pitots étant repérée par rapport à 3 axes  $O x y z$ . ( $O$ : centre de la surface réceptrice du pluviomètre —  $Ox$  coïncidant avec l'axe de la veine, dans le sens du vent —  $Oz$  dirigé vers le haut —  $Oy$  perpendiculaire)

c) Tous les essais ont été effectués pour des vitesses de 5 - 10 - 15 - 20 m/s, mesurées à l'entrée de la veine de la soufflerie au moyen d'un second Pitot.

## 2. Les résultats.

Parmi toutes nos séries d'essais, nous présenterons seulement les plus caractéris-



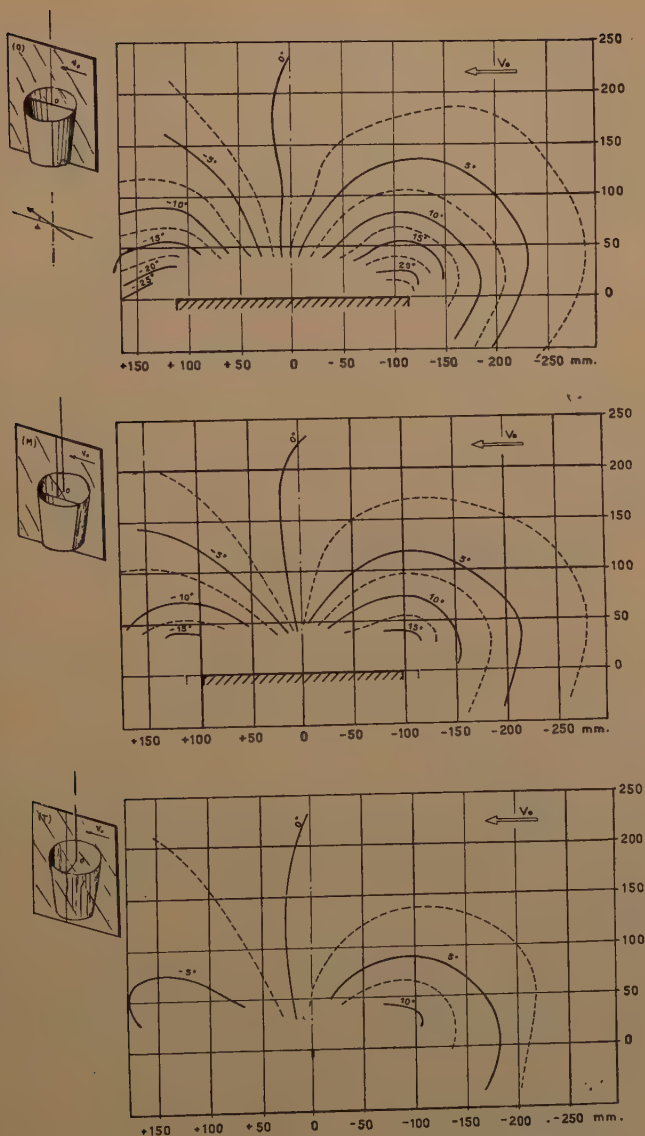


Fig. 2 — Inclinaison des filets d'air sur l'horizontale.

tiques, c'est-à-dire les résultats des explorations faites dans les trois plans verticaux suivants :

- Plan O, passant par le centre du pluviomètre et contenant l'axe de la veine ( $y = 0$ )
- Plan T, parallèle, et tangent au bord extérieur du pluviomètre ( $y = 115$  mm.)
- Plan M, à mi-distance entre les deux ( $y = 57,5$  mm.)

### a) Forme de l'écoulement autour du pluviomètre :

Sur les graphiques II ont été dessinées les lignes « equi-angles » c'est-à-dire reliant tous les points de même inclinaison sur l'horizontale :  $0^\circ$ ,  $+5^\circ$ ,  $+10^\circ$ , ...  $-5^\circ$ ,  $-10^\circ$ , ... etc.

Elles permettent de reconstituer les trajectoires d'écoulement des filets d'air (fig. III) qui coïncident d'ailleurs très exactement avec celles que l'on obtient par visualisation directe au moyen de fumées et photographie.

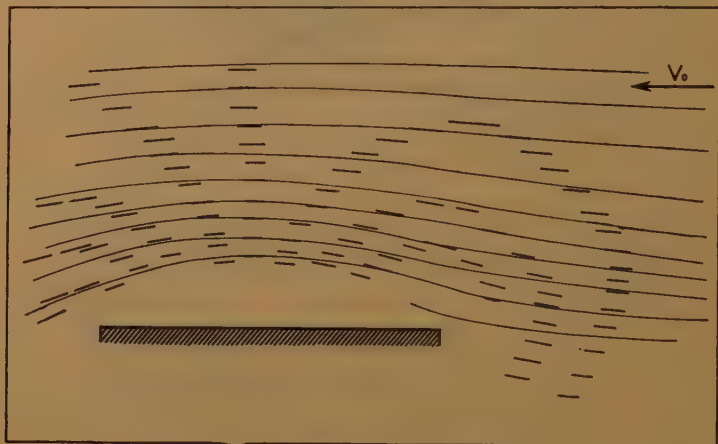


Fig. 3 — Trajectoires des filets d'air.

### b) Champ de vitesses.

$V$  étant la vitesse horizontale du vent au point exploré, et  $V_0$  la vitesse amont (à l'entrée de la veine), les champs de vitesses relatifs dans chacun des plans verticaux considérés, conservent très sensiblement la même forme quel que soit  $V_0$ . Cela n'a rien de surprenant et correspond à un écoulement classique autour d'un obstacle. Dans chacun des plans explorés nous pourrions donc nous limiter à une représentation unique graduée en valeurs de  $V/V_0$ .

Les graphiques IV montrent ces champs de vitesses.

On peut y voir qu'il existe toujours au-dessus du pluviomètre une zone de survitesses ( $V/V_0 > 1$ ) qui aura pour effet d'infléchir les trajectoires des gouttes de pluie et par conséquent de rejeter hors de la surface réceptrice une fraction de celles qui normalement auraient dû y pénétrer.

Les mesures de précipitations sont donc *erronées par défaut*.

## 3. Trajectoires des gouttes de pluie

a) Pour mettre en évidence cette déformation des trajectoires, nous avons monté dans la soufflerie un dispositif permettant d'envoyer dans le courant d'air une succession de gouttes dont on photographiait le mouvement.

(Les gouttes utilisées correspondaient à une pluie d'orage moyenne — ce que l'on a vérifié en mesurant les dimensions des traces recueillies sur des feuilles de papier enfumé)

La figure V représente les trajectoires dessinées d'après la superposition d'un certain nombre de photographies

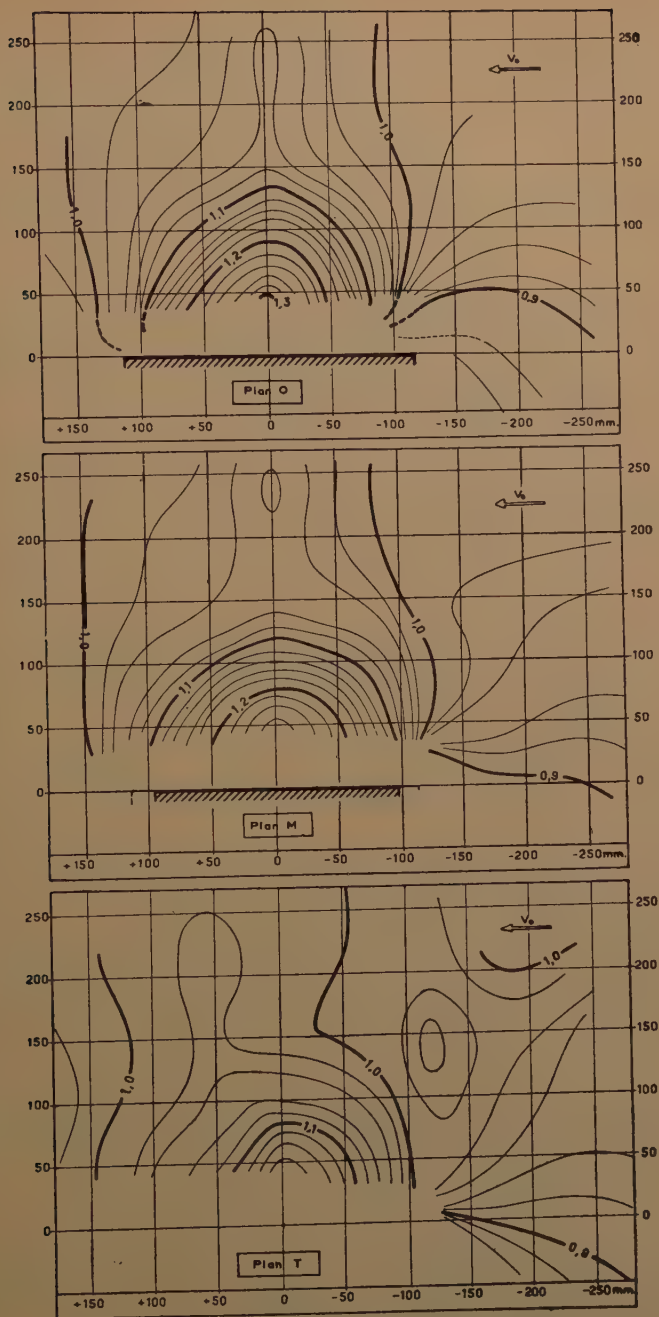


Fig. 4 — Champs des vitesses (graduées en valeurs de  $V/V_0$ )

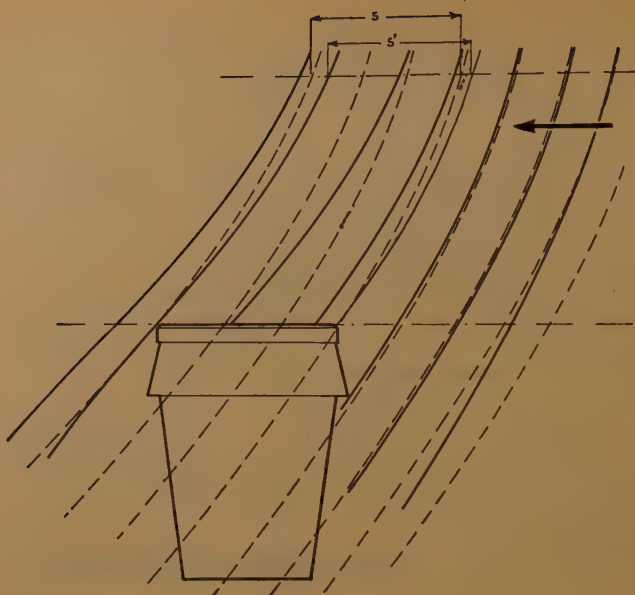


Fig. 5 — Trajectoires des gouttes de pluie.  
 — pluviomètre en place  
 --- pluviomètre enlevé

— en traits interrompus, les trajectoires en champ uniforme, c'est-à-dire sans pluviomètre

— en traits pleins, les trajectoires effectives, c'est-à-dire avec le pluviomètre en place.

On voit nettement qu'au dessus de l'appareil les secondes sont plus inclinées sous l'effet des survitesses. Elles sont naturellement confondues avec les premières dans les zones (à l'amont de l'appareil et à partir d'une certaine cote Z au-dessus de la surface réceptrice) où  $V/V_0$  est très voisin ou égal à 1.

Si l'on considère en particulier le « tube de pluie » limité par la surface du pluviomètre (et en coupe dans le plan vertical par les trajectoires passant par les bords extrêmes), le rapport  $\frac{S - S'}{S}$  donne l'erreur commise dans la mesure de la précipitation.

b) A titre de vérification, nous avons considéré ensuite les trajectoires que l'on peut construire point par point à partir des graphiques III et IV, en composant les trois vecteurs suivants :

L : vitesse de chute limite des gouttes d'eau, dirigée vers le bas

V : composante horizontale de la vitesse du vent

V' : composante verticale dirigée vers le haut ou vers le bas suivant le signe de l'angle  $\alpha$ .

Dans les conditions expérimentales adoptées, les deux réseaux de trajectoires : calculé et observé, étaient exactement superposables.

c) L'examen de plusieurs séries de trajectoires, photographiées ou calculées

avec diverses vitesses du vent, nous a finalement conduit aux résultats généraux suivants :

— dans le plan vertical passant par le centre du pluviomètre, l'erreur de mesure telle qu'elle a été définie  $\frac{S-S'}{S}$  est de l'ordre de 4 à 5 %

— dans le plan tangent  $T_1$  elle est négligeable.

— en intégrant sur toute la surface du pluviomètre, on peut admettre qu'elle doit être « en moyenne » d'environ 3 %.

#### Remarque :

Il s'agit bien, comme nous venons de le dire, de résultats moyens.

Nous avons en effet opéré avec une grosseur de gouttes arbitraire. Or, il est certain que l'erreur de mesure due au vent est essentiellement influencée par la masse des gouttes : les forces d'inertie qui s'opposent à la déformation de la trajectoire d'une goutte sont proportionnelles à cette masse. Il est donc facile de voir que plus cette masse sera faible, plus la déviation des trajectoires et par conséquent l'erreur de mesure sera grande.

De même, l'effort qu'exerce le vent sur une goutte et qui provoque la déviation de sa trajectoire, est une fonction croissante de la vitesse du vent. Dans nos essais, la vitesse restait constante au cours de chaque essai; dans la nature, on observe toujours des fluctuations avec le temps.

En définitive :

a) Un premier point reste acquis : un pluviomètre soumis à l'effet du vent recueille une quantité de pluie moindre que celle qu'il devrait normalement recueillir.

b) Le coefficient d'erreur dû aux survitesses de l'air peut être « théoriquement » déterminé. Mais en pratique, on ne mesure ni la vitesse du vent, ni la grosseur des gouttes de pluie, toutes deux d'ailleurs variables au cours d'une même averse.

c) Pour atténuer, ou tout au moins réduire le plus possible cette erreur, on devra essayer d'éliminer la zone de survitesses que crée le pluviomètre.

C'est ce qui constitue l'objet de notre deuxième série d'essais.

## II — ETUDE DES POSSIBILITÉS D'ÉLIMINATION DES SURVITESSES.

a) Divers procédés ont déjà été utilisés pour essayer de réduire l'erreur introduite dans la mesure, par le pluviomètre lui-même. Ils sont à peu près tous basés sur l'emploi d'écrans circulaires que l'on dispose autour de l'appareil.

On a même fait des mesures comparables « sans écran » et « avec écran », et comme elles étaient différentes, on en a conclu à l'efficacité de l'écran.

Il nous semble cependant qu'on n'a fait là que déplacer le problème sans le résoudre : l'écran est en effet un obstacle solide qui, lui aussi, crée des perturbations dans le champ de vitesses : perturbations de même nature que celles observées dans le cas du pluviomètre nu, qui défléchissent aussi les trajectoires des gouttes d'eau et laissent ainsi subsister des erreurs de mesure.

Nous avons donc recherché autre chose en essayant plutôt — puisqu'il y a survitesse au-dessus de l'appareil — de « freiner » le vent.

C'est ce qui nous a conduit à l'utilisation de grillages.

b) Rappelons d'abord quelques résultats obtenus dans la Soufflerie de Göttingen et complétés par J. LEMAINS (Publications Scientifiques et Techniques du Ministère de l'Air — N° 59).

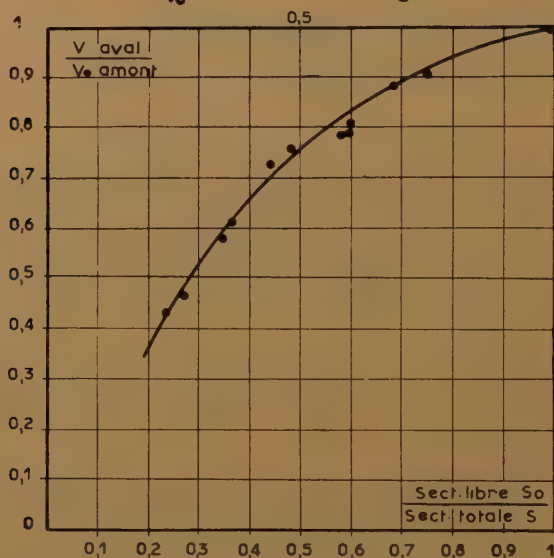
Lorsque, sur le trajet d'un courant d'air horizontal, on interpose un grillage,



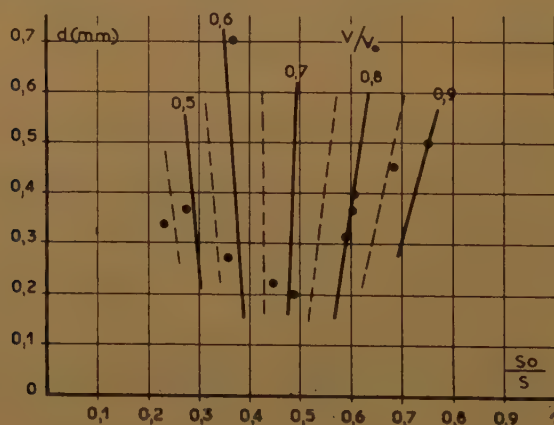
on constate une perte de charge qui se traduit par une diminution de la vitesse du vent à l'aval.

Les graphiques VI montrent :

## I - Valeurs de $\frac{V}{V_0}$ en fonction de $\frac{S_0}{S}$



## II - Influence du diamètre $d$ des fils



$V$  - Vent aval  
 $V_0$  - Vent amont

$S_0$  - Surface libre du grillage.  
 $S$  - Surface totale.

Fig. 6 — Ecoulement de l'air à travers des grillages.

I — Valeurs de  $V/V_0$  en fonction de  $S_0/S$

II — Influence du diamètre  $d$  des fils

$V$  = Vent aval

$S_0$  = Surface libre du grillage.

$V_0$  = Vent amont

$S$  = Surface totale.

— les variations du rapport  $V$  (vent amont) /  $V_0$  (vent aval) en fonction de  $S_0/S$  ( $S_0$  = section libre du grillage —  $S$  = section totale)

— l'influence du diamètre des fils constituant le grillage : elle apparaît négligeable, c'est-à-dire que pour des grillages « courants »  $V/V_0$  ne dépend que de  $S_0/S$ .

c) *Dispositif expérimental utilisé :*

1. Des essais préliminaires ont été effectués avec plusieurs types de grillage

— type A à maille de  $10 \times 7$  mm. en fils de 1,2 mm

— » B »  $3,5 \times 3,5$  » I

— » C »  $1,6 \times 1,6$  » 0,4

Ils ont permis en premier lieu de vérifier les résultats énoncés ci-dessus.

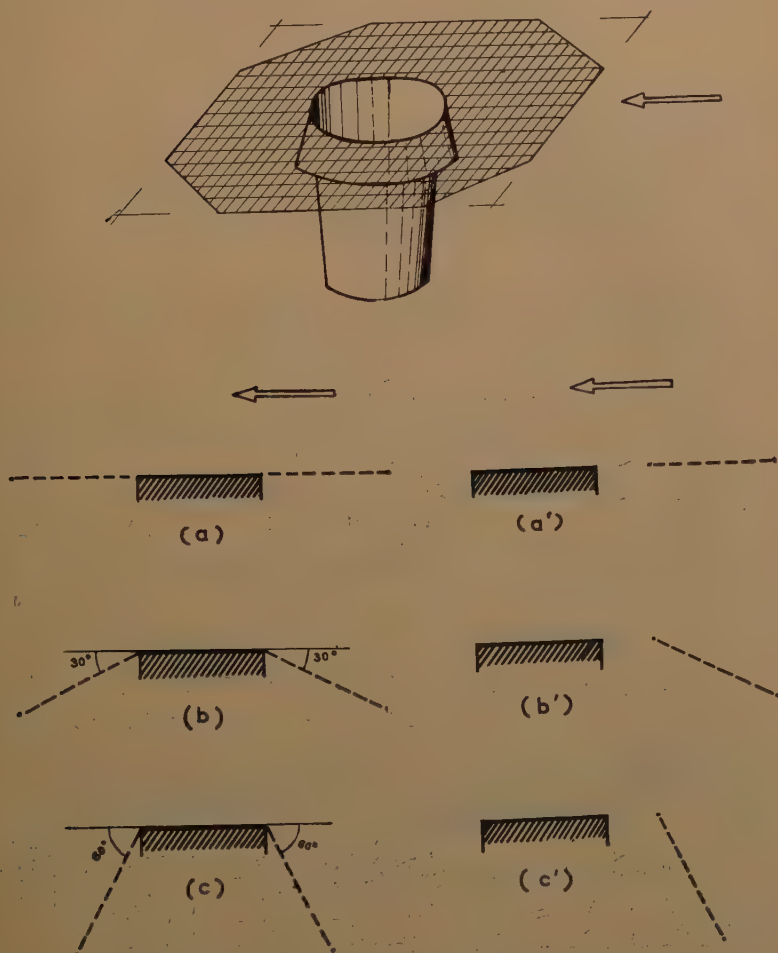


Fig. 7 — Essais avec grillages.

2. Pour les mesures proprement dites, avec le pluviomètre, nous avons constaté que :

- un écran de grillage, constitué par une sorte de cylindre vertical ou de tronc de cône, et disposé de façon telle que son bord supérieur soit dans le plan de la surface réceptrice du pluviomètre, ne déforme pas sensiblement le champ des vitesses observé autour du pluviomètre nu.

- si l'on surélève l'écran au-dessus de la surface réceptrice du pluviomètre, il faut le mettre très près de l'appareil pour que son effet soit visible. Mais on risque alors une interception directe des gouttes lorsque les trajectoires sont très inclinées.

Nous avons donc abandonné l'idée du grillage vertical et procédé à d'autres essais dans les conditions suivantes : (fig. VII)

- grillage horizontal entourant le pluviomètre (VIIa.)
- grillages inclinés vers le bas à  $30^\circ$  puis à  $60^\circ$  (VIIb. et VIIc.)
- mêmes dispositifs que ci-dessus, mais en écartant le grillage de 25 mm. puis de 50 mm. (VIIa', b', c').

#### d) Les résultats.

##### *Effet du grillage horizontal*

La comparaison des graphiques IV et VIII montre une réduction sensible des survitesses au-dessus du pluviomètre

(Elle passe par exemple de 1,35 à 1 pour un point situé à 5 cm. au-dessus du centre de l'appareil, ou à 1,1 pour un point à 10 cm. au-dessus)

##### *Influence de l'inclinaison*

La comparaison des graphiques VIII et IX montre qu'il y a assez peu de différences dans les champs de vitesses lorsque le grillage est incliné à  $30^\circ$  ou à  $60^\circ$  en dessous.

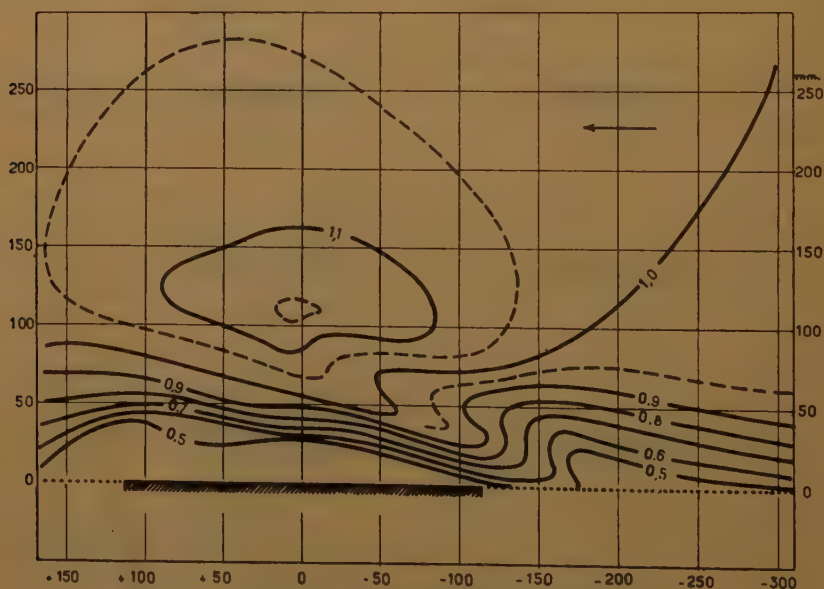


Fig. 8 — Champs des vitesses (avec grillage horizontal).

(Notons qu'on n'a pas utilisé l'inclinaison « en dessus » pour éviter le rejaillissement possible des gouttes).

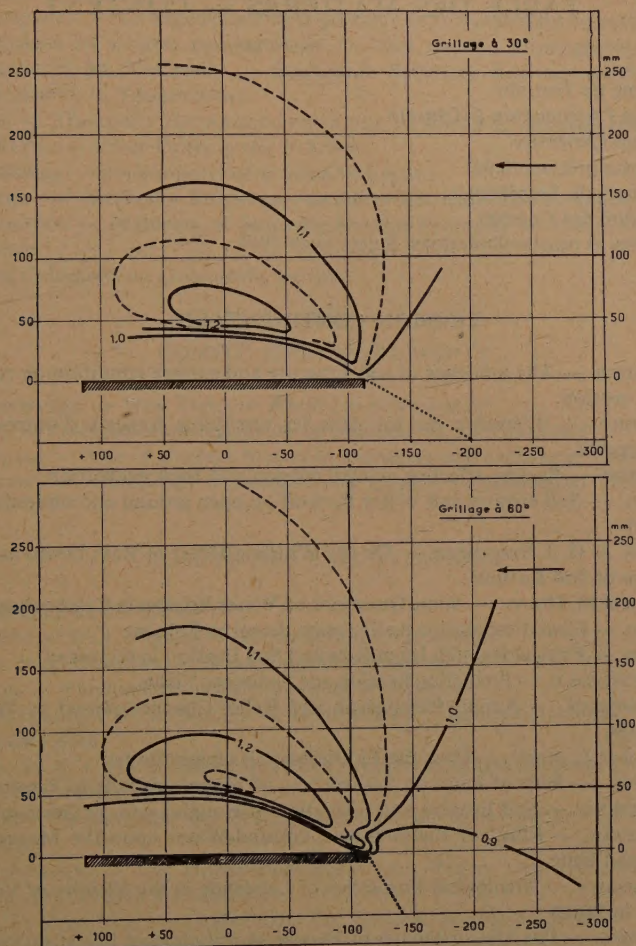


Fig. 9 — Champs des vitesses (avec grillages inclinés à 30° et à 60°).

#### *Influence de l'écartement*

Ce dispositif (grillages écartés) apporte assez peu de changement au champ du pluviomètre nu. Il est donc moins favorable que le premier (grillage au contact) et n'a pas été retenu.

C'est en définitive le *grillage horizontal*, tel qu'il est représenté sur la fig. VII, qui donne le meilleur « freinage » des filets d'air.

Sa réalisation pratique est simple et ses avantages certains : divers essais faits dans les mêmes conditions que dans la première partie de cette note (photographie ou calcul de trajectoires de gouttes d'eau) montre que l'erreur de mesure dans le plan axial du pluviomètre passe de 4 à 5 % à moins de 1 %.



## TABLE DES MATIÈRES — CONTENT

Programme de Toronto . . . . .	5
Conseil de l'Association à Toronto . . . . .	16
Assemblées Générales . . . . .	22
Adresse présidentielle . . . . .	22
Rapport du Secrétaire . . . . .	27
Composition des Comités . . . . .	50
Résolutions et recommandations. Sujets pour 1960 . . . . .	52

## EROSION CONTINENTALE

58

H. SCHREIBER. — The influence of soil structure and surface condition on runoff and erosion. . . . .	65
F. FOURNIER. — L'érosion du sol dans les territoires français d'outre-mer, 3 rapports. . . . .	72
D. D. SMITH. — Factors affecting rainfall erosion and their evaluation . . . .	97
L. HEMPEL. — Soil erosion and Water Run-off on open ground and underneath wood . . . . .	108
H. KURON et H. J. STEINMETZ. — On the Whirling Effect of Rain Drops as one Cause of Soil Erosion . . . . .	115
J. DVORAK et M. HOLY. — Some Questions on Water Erosion in Czechoslovakia .	122
K. DEBSKI. — Essai d'estimation de l'Erosion du sol en Pologne . . . . .	136
H. KURON. — Critical Rainfall Intensities and Soil Erosion in Germany . . . .	141
L. C. GOTTSCHALK. — Predicting Erosion and Sediment Yields . . . . .	146
H. J. STEINMETZ. — Aerial Photograph and Relief Changes caused by Water Erosion . . . . .	154
H. KURON et L. JUNG. — Über die Erodierbarkeit einiger Boden . . . . .	161
T. ONODERA. — Role of Fault on Susceptivity of Mountains-Side to Erosion . .	166
H. MENSCHING. — Soil Erosion and formation of Haugh-Loam in Germany . . .	174
T. TANIGUCHI. — Effect of Rainfalls and Ground-Water upon the Movement of Land Slide . . . . .	181
S. AKUTAGAWA. — Geological Properties of Landslide in the Vicinity of Volcanoes in Japan . . . . .	194
L. ARNBORG. — The Use of Diving in Fluvial Morphological Investigations . .	195
H. MOOSBRUGGER. — Le charriage et le débit solide en suspension des cours d'eau de montagnes . . . . .	203
G. TISON jr. — Considérations sur la variation de la Sédimentation dans un Fleuve à Marée . . . . .	232
A. SUNDBORG. — A Method for Estimating the Sedimentation of Suspended Material . . . . .	249
P. FROSINI. — Transports Solides en Italie . . . . .	260
J. TIXERONT et E. BERKALOFF. — Evaluation de l'Erosion en Tunisie . . . . .	262
A. E. GEIGER. — Sediment yields from Small Watersheds in the U.S. . . . .	269
J. BOGARDI. — Summary of the Measurements made in Hungary of Sediment Transportation . . . . .	277
Z. KAROLYI. — A Study into Inconsistencies in Bed-Load Transport on the Basis of Measurements in Hungary . . . . .	286



E. WALSER. — Mesures Récentes des dépôts d'alluvions dans certains Deltas Suisses . . . . .	300
T. ONODERA. — Studies on Erosion in Japan . . . . .	302
Z. KAJETANOWICZ. — La dépendance de la grosseur de la granulation du matériel du lit dans les rivières montagneuses de leurs qualités physiographiques . . . . .	323
S. JOVANOVIC et M. VUKSEVIC. — Suspended Sediment Regimen on Some Watercourses in Yougoslavia . . . . .	337
M. PARDÉ. — Transports Enormes de matériaux de fond par certaines rivières . . . . .	360
G. V. LOPATIN. — River Drifts in the U.S.S.R. . . . .	371
Y. M. SIMAIKA. — Some aspects of Erosion in Egypt. . . . .	381
W. JAROCKI. — Méthodes Empiriques de calcul des matériaux en suspension . . . . .	387
D. L. ARMAND. — Problems of Studying Erosion Processes on the U.S.S.R. Territory . . . . .	399
Erosion en Columbie, au Guatemala, en Iraq . . . . .	401

## COMITÉ DES INSTRUMENTS 410

M. GOLDSCHMIDT. — New Types of Water Level Recorders . . . . .	421
J. BONNIN. — Quelques applications de la conductivité à l'hydrologie . . . . .	426
S. KOLUPAILA. — Use of Current Meters in Turbulent and Divergent Channels . . . . .	437
C. C. CLINE. — Conformal Transformation applied to suppressed Weirs . . . . .	445

## COMITÉ DES PRÉCIPITATIONS 452

Exposé générale de M. SERRA . . . . .	452
L. L. WEISS and W. T. WILSON. — Precipitation Gage Shields . . . . .	462
F. LUGIEZ et A. DUMAINE. — Mesure des Précipitations . . . . .	485
F. PASTEUR. — Pluviomètres aérodynamiques orientables . . . . .	495
D. M. HERSFIELD et W. T. WILSON. — Generalizing of Rainfall-intensity-frequency data . . . . .	499
C. PEGUY et G. CHAPIN. — Intensité et Covariométrie des précipitations journalières dans l'ouest de la France . . . . .	507
P. CAPPUS. — Répartition des Précipitations sur un bassin versant de faible superficie . . . . .	515
A. BAUMGARTNER. — Zur Höhenabhängigkeit von Regen- und Nebelniederschlag Am Grossen Falkenstein . . . . .	529
L. SERRA. — Possibilités d'amélioration des mesures de précipitations . . . . .	535

(31.729)

Imprimerie Ceuterick, s. c., 66, rue Vital Decoster, Louvain  
Resp. L. Pitsi, 25, rue Dagobert, Louvain (Belgique)

PRINTED IN BELGIUM